ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 27 OCTOBRE 1947.

PRÉSIDENCE DE M. Louis BLARINGHEM.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

ANALYSE DIMENSIONNELLE. — *Sur une démonstration illusoire.*
Note [1] de M. **Robert Esnault-Pelterie** [2].

Tous les auteurs, sauf un, démontrent la réduction du nombre des variables de Vaschy en débutant ainsi : « Considérons la relation

$$f(g_1, g_2, \ldots, g_n) = 0, \tag{1}$$

qui relie entre eux n paramètres physiques, et développons f en série multiple (de Taylor dit l'un), nous obtiendrons *évidemment* une suite de monomes produits de puissances des variables et tous de mêmes dimensions. »

Examinons à fond le mécanisme de cette opération [3].

Fonctions mathématiques. — Ce sont les « fonctions » tout court de l'usage, conçues dans l'abstraction mathématique sur des variables que notre esprit créa *monomorphes* (douées de la seule « qualité de quantité »). On les applique sans examen aux variables dimensionnées, donc *polymorphes*, du Physicien.

Fonctions physiques. — Ce sont des fonctions mathématiques appliquées à des grandeurs physiques *polymorphes*.

Lemme. — *Considérant la suite que forment une fonction physique, toutes ses dérivées successives d'une part et toutes ses intégrales successives d'autre part, la différence entre les dimensions de l'un quelconque des termes de cette suite et celles du suivant est la même pour tous et égale aux dimensions de la variable.*

Considérons une fonction quelconque $\varphi(m)$ et ses dérivées successives :

$$\frac{d\varphi}{dm} = \varphi'; \qquad \frac{d\varphi'}{dm} = \frac{d^2\varphi}{dm^2} = \varphi'', \qquad \ldots \tag{2-2a}$$

---

(1) Séance du 13 octobre 1947.

(2) *Voir* également *Comptes rendus*, **225**, 1947, p. 606.

(3) *L'Analyse dimensionnelle* (nos **20-4**, **21**), sous presse, Lausanne, 1947.

Les entités et les opérations représentées par le symbolisme ci-dessus furent conçues dans l'abstraction *noocosmique* ([4]), comme il a été dit.

Supposons que les symboles et opérations (2) soient appliqués à des entités dimensionnées, et représentons symboliquement par

D	les dimensions de	φ	et de	$d\varphi$,
D_1	»	φ'	»	$d\varphi'$,
D_n	»	φ^n	»	$d\varphi^n$,
enfin par D_m	celles de	m	»	dm,

Nous voyons par les formules (2-2*a*) que le principe d'homogénéité exige qu'en toute circonstance

$$D_n - D_{n-j} = D_{(mj)} = j D_m. \tag{3}$$

Si le nombre des grandeurs fondamentales est de k, l'équation symbolique (3) correspondra à k équations, une en chacune des grandeurs fondamentales.

Corollaire 1. — *Une suite comme celle qui vient d'être considérée peut comprendre* une *fonction dénuée de dimensions, mais* une seule; *elle peut aussi n'en pas comprendre.*

Corollaire 2. — *Si, dans une telle suite, l'un quelconque des termes et le suivant ne présentent pas de différence de dimensions, ces fonctions ne peuvent admettre, comme variable, qu'une grandeur dénuée de dimensions et réciproquement.*

Corollaire 3. — *Dans ce cas, toutes ces fonctions sont dénuées de dimensions, puisqu'elles ne comportent aucune grandeur dimensionnée.*

Développements en série multiple sur grandeurs physiques. — Je rappellerai le mécanisme de ce développement sur variables mathématiques monomorphes.

Soit une fonction de trois variables

$$\varphi(x, y, z) = u. \tag{4}$$

Au lieu d'écrire directement $\varphi(x+h, y+j, z+k)$, on écrit d'abord $\varphi(x+ht, y+jt, z+kt)$; on effectue le développement de Mac Laurin par rapport à t seul, puis on fait $t=1$.

Posons

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)h + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)j + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)k = U'. \tag{5}$$

La série de Taylor multiple s'écrira, en puissances symboliques,

$$\varphi(x+h, y+j, z+k) = \varphi(x, y, z) + U' + \frac{1}{2!}U'^{(2)} + \ldots + \frac{1}{n!}U'^{(n)} + \ldots. \tag{6}$$

Développons les U' en nous limitant aux termes du second ordre :

$$\begin{aligned} &\varphi(x+h, y+j, z+k) \\ &= \varphi(x, y, z) + \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)h + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)j + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)k\right] + \left[\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right)h^2 + \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)j^2 + \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right)k^2\right] \\ &\quad + 2\left[\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x\,\partial y}\right)hj + \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x\,\partial z}\right)hk + \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y\,\partial z}\right)jk\right]. \end{aligned} \tag{6'}$$

([4]) *Comptes rendus*, 225, 1947, p. 606.

La série de Mac Laurin multiple s'écrira, elle,

$$(7)\qquad \varphi(x, y, z) = \varphi(0, 0, 0) + U'_0 + \frac{1}{2!}U'^{(2)}_0 + \ldots + \frac{1}{n!}U'^{(n)}_0 + \ldots,$$

soit, en développant les U'_0,

$$(8)\quad \varphi(x, y, z) = \varphi(0, 0, 0) + \left[\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)_0 x + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)_0 y + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)_0 z\right] + \left[\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}\right)_0 x^2 + \left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}\right)_0 y^2 + \left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}\right)_0 z^2\right] + 2\left[\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\,\partial y}\right)_0 xy + \left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\,\partial z}\right)_0 xz + \left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial y\,\partial z}\right)_0 yz\right].$$

Homogénéité mathématique. — Celle-ci saute aux yeux.

Homogénéité physique. — Elle est beaucoup plus complexe : si nous nous référons aux lemme et corollaires ci-dessus, nous voyons que chaque dérivée va posséder des dimensions égales à celles de la fonction primitive diminuées de celles des variables par rapport auxquelles on a dérivé.

Mais chacune de ces dérivées est précisément multipliée, soit par les variables par rapport auxquelles on a dérivé (Mac Laurin), soit par les variations de ces variables (Taylor), qui ont mêmes dimensions que les variables elles-mêmes. Chaque terme du développement aura donc, dans son ensemble, les mêmes dimensions que la fonction primitive, comme il se doit.

Dans les deux cas ci-dessus, les dérivées auront des dimensions qui seront en général différentes au sein du même terme du développement. Ces dimensions ne peuvent résulter que de produits de puissances de *valeurs fixes* des variables, se trouvant en facteur; *ce sont des constantes dimensionnées*. Leurs dimensions défectives sont compensées par celles de produits des variations des variables (Taylor) ou des variables elles-mêmes (Mac Laurin), qui se trouvent en facteur.

Pour obtenir uniquement des produits de puissances des variables elles-mêmes, comme on l'annonce habituellement, il faut effectuer un autre développement qu'il est étonnant de ne voir mentionner nulle part, en faisant, dans (6′), $h = x$, $j = y$ et $k = z$, ce qui est loisible. Changeant de variables :

$$(9)\qquad \varphi(x, y, z) = \varphi\left(\frac{x}{2}, \frac{y}{2}, \frac{z}{2}\right) + \frac{2^{-1}}{1}U'_{\frac{1}{2}} + \frac{2^{-2}}{2!}U'^{(2)}_{\frac{1}{2}} + \ldots + \frac{2^{-n}}{n!}U'^{(n)}_{\frac{1}{2}} + \ldots,$$

où

$$(10)\qquad U'_{\frac{1}{2}} = \left(\frac{du}{dx}\right)_{\frac{1}{2}} x + \left(\frac{du}{dy}\right)_{\frac{1}{2}} y + \left(\frac{du}{dz}\right)_{\frac{1}{2}} z,$$

l'indice $\frac{1}{2}$ indiquant que les dérivées sont prises sur la fonction

$$(11)\qquad (u)_{\frac{1}{2}} = \varphi\left(\frac{x}{2}, \frac{y}{2}, \frac{z}{2}\right);$$

et par rapport à $x/2$, $y/2$, $z/2$.

Signification du résultat ainsi obtenu. — *Premier cas. — La fonction $\varphi(x, y, z)$ de (9) est dimensionnée.* — Ses dimensions ne sauraient provenir que de produits de puissances des variables physiques. S'il s'agit d'un polynome entier,

(9) se réduit à une identité; s'il s'agit d'un polynome non entier, nous avons transformé une suite finie, *préexistante*, de produits de puissances des variables en une suite indéfinie.

Second cas. — La fonction $\varphi(x, y, z)$ *de* (9) *est indimensionnée.* — S'il s'agit de sommes de produits de puissances dénués de dimensions, nous retombons sur l'un des deux cas précédents.

S'il s'agit d'une fonction mathématique analytique de produits de puissances indimensionnés, nous l'aurons réellement transformée en une suite indéfinie de monomes, produits de puissances des produits *préexistants*.

Conclusion. — Dans tous les cas, les produits de puissances des variables physiques dimensionnées *préexistaient et ce n'est nullement le développement qui les a fait apparaître; toute démonstration du théorème* II *à partir d'un développement en série est donc illusoire.*

Comme M. Henri Villat a fait observer que la seule démonstration ne partant pas d'un développement, était erronée, le théorème II n'avait, en fait, jamais été démontré valablement.

J'ai pu établir deux démonstrations dont l'une se réduit à peu près à une constatation, l'autre étant une rectification de la démonstration erronée.

ÉCONOMIE RURALE. — *A propos de la printanisation* (1).
Note de M. **Henri Devaux.**

J'ai remarqué avec un vif intérêt le vœu émis, le 6 octobre dernier, par l'Académie, au nom de la Commission des Recherches agronomiques et visant à appliquer la méthode de printanisation comme remède à la destruction des blés d'hiver par la gelée.

A ce propos, je crois utile de signaler à l'Académie le fait que M. Roger David, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, spécialiste de la printanisation, avait, dès le mois de février 1947, aussitôt après les dégâts causés par les gelées de janvier, adressé aux pouvoirs publics, une lettre pressante indiquant la possibilité de remédier immédiatement aux dommages à déplorer, grâce à la technique de la printanisation.

Cette technique a donné, pour les céréales, des résultats permettant une utilisation immédiate, comme l'ont montré en Russie, avant la guerre, les essais effectués dans de nombreuses fermes collectives (2).

L'initiative de M. Roger David aurait pu être suivie utilement au moins de quelques essais officiels.

---

(1) Voir plus loin page 763, la note de MM. Roger David et Jean Séchet.

(2) David, *Actualités scientifiques et industrielles*, n° **1013**, Hermann, Paris, 1946, p. 100.

M. **Charles Jacob** fait hommage à l'Académie d'une Notice intitulée *Charles Barrois*, 1851-1939, qu'il vient de publier dans les *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society*, volume 5, mars 1947.

CORRESPONDANCE.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° *Éphémérides nautiques ou extrait de la Connaissance des temps pour l'an* 1948, Ouvrage publié par le Bureau des Longitudes, spécialement à l'usage des marins.

2° *L'Union internationale de physique pure et appliquée* (*Assemblée générale de janvier* 1947).

3° Faculté de médecine de Paris. Chaire de Pathologie exotique. *Leçon inaugurale* du Professeur Lavier.

4° *Carte géologique internationale de l'Afrique* exécutée conformément aux vœux du Congrès géologique international, dressée et publiée par le Bureau d'études géologiques et minières coloniales. Feuille n° 3.

THÉORIE DES GROUPES. — *Sur les groupes abéliens primaires sans éléments de hauteur infinie*. Note de M. **Léo Kaloujnine**, présentée par M. Jacques Hadamard.

Dans la présente Note, j'établis quelques propriétés des groupes abéliens satisfaisant à certaines conditions. (La loi de composition sera notée additivement.)

Un groupe s'appelle *périodique* si tous ses éléments sont d'ordre fini. Une classification complète des groupes abéliens périodiques *dénombrables* a été obtenue surtout grâce aux travaux de Prüfer [1], Ulm [2] et Zippin [3]. J'utilise l'exposé magistral de cette théorie donné par M. Kouroch [4].

Voici quelques faits connus, ainsi que quelques notions, dont je me sers dans la suite. Un groupe s'appelle *primaire*, si les ordres de tous ses éléments sont puissances d'un même nombre premier p. Tout groupe abélien périodique est une somme directe de groupes primaires. Un élément a d'un groupe abélien primaire $\mathcal{G}$ est dit de *hauteur* m (ou de *hauteur infinie*) dans $\mathcal{G}$, si m est le plus grand entier tel que (ou si pour tout m), $p^m x = a$ est résoluble

---

(1) *Math. Zeitsch.*, **17**, 1923, pp. 35-61.

(2) *Math. Ann.*, **107**, 1933, pp. 774-803.

(3) *Annals of Math.*, **36**, 1935, pp. 86-99.

(4) *Théorie des Groupes*, Moscou, 1944.

dans $\mathcal{G}$. Un sous-groupe $\mathcal{H}$ d'un groupe abélien primaire $\mathcal{G}$ est dit *servant* dans $\mathcal{G}$, si les éléments de $\mathcal{H}$ possèdent dans $\mathcal{H}$ la même hauteur que dans $\mathcal{G}$ (c'est-à-dire, pour tout m, $p^m\mathcal{H} = \mathcal{H} \cap p_m\mathcal{G}$).

On écrira dorénavant : 1° « f-groupe » pour « groupe abélien primaire sans éléments de hauteur infinie », et 2° « décomposable » pour « décomposable en une somme directe de groupes cycliques ». Avec ces conventions on a : *un f-groupe dénombrable et décomposable*. Ce fait important, connu sous le nom de théorème de Prüfer ([1]) et qui est à la base de la classification des groupes abéliens périodiques, n'est plus vrai pour les f-groupes non dénombrables ([4]). J'établirai une propriété plus générale qui subsiste sans aucune hypothèse sur la puissance du f-groupe.

$\mathcal{G}$ étant un f-groupe, considérons la topologie définie dans $\mathcal{G}$ par la suite des sous-groupes $p^i\mathcal{G}$ ($i = 0, 1, 2 \ldots$). Cette topologie, qu'on appellera *topologie naturelle* de $\mathcal{G}$, est discrète si, et seulement si, les ordres des éléments de $\mathcal{G}$ sont bornés dans leur ensemble. Ceci étant, on démontre le

Théorème 1. — *Tout f-groupe $\mathcal{G}$ possède un sous-groupe $\mathcal{H}$ qui est : 1° servant dans $\mathcal{G}$; 2° partout dense dans $\mathcal{G}$ (au sens de la topologie naturelle); 3° décomposable.*

Principe de la démonstration. — Un sous-ensemble M de $\mathcal{G}$ sera dit *linéairement indépendant au sens fort* (abrégé f. l. i.) si, pour tout sous-ensemble fini $\{a_1, a_2, \ldots, a_r\}$ de M et pour tout t, toute relation de la forme $\Sigma x_i a_i \equiv 0\,(p^t\mathcal{G})$ entraîne, pour tout i, $x_i \equiv 0\,(p^t)$. On voit aisément que l'ensemble des sous-ensembles f. l. i. (partiellement) ordonné par inclusion est un ensemble inductif ([5]), d'où, en vertu du théorème de Zorn, résulte l'existence des ensembles f. l. i. maximaux. Soit N un tel sous-ensemble f. l. i. maximal et soit $\mathcal{H}$ le sous-groupe de $\mathcal{G}$ engendré par N. On vérifie que $\mathcal{H}$ satisfait aux conditions 1°, 2°, 3°, du théorème 1.

Pour un f-groupe $\mathcal{G}$, la suite des groupes $\mathcal{G}/p^i\mathcal{G}$ ($i = 0, 1, 2, \ldots$) sera dite *la suite des facteurs fondamentaux de $\mathcal{G}$*. $\mathcal{H}$ et $\mathcal{H}'$ étant deux f-groupes décomposables, on remarque que $\mathcal{H}$ est isomorphe à $\mathcal{H}'$ si, et seulement si, tous leurs facteurs fondamentaux correspondants le sont. En se basant sur ce fait, on démontre le

Théorème 2. — *$\mathcal{G}$ étant un f-groupe, tous les sous-groupes de $\mathcal{G}$ satisfaisant aux conditions 1°, 2°, 3° du théorème 1 sont isomorphes entre eux.*

On supposera dans la suite que $\mathcal{G}$ est un f-groupe dans lequel les ordres des éléments ne sont pas bornés dans leur ensemble. Soit $\overline{\mathcal{G}}$ le complété de $\mathcal{G}$ par rapport à sa topologie naturelle. $\overline{\mathcal{G}}$ n'est pas un groupe périodique. On appellera *quasi-complété* de $\mathcal{G}$ et l'on notera par $\mathcal{G}^\star$ le sous-groupe maximal périodique de $\overline{\mathcal{G}}$. Si $\mathcal{G} = \mathcal{G}^\star$, $\mathcal{G}$ sera dit *quasi-complet*. On vérifie les propriétés suivantes :

([5]) N. Bourbaki, *Théorie des ensembles* (fasc. de résultats), Paris, 1939.

Pour tout f-groupe $\mathcal{G}$, le quasi-complété $\mathcal{G}^\star$ est un f-groupe quasi-complet et $\mathcal{G}$ est servant dans $\mathcal{G}^\star$. D'autre part, si $\mathcal{G}$ est décomposable, on a $\mathcal{G} \subset \mathcal{G}^\star$ ($\subset$ désignant l'inclusion stricte). En vertu du théorème 1, tout groupe quasi-complet est le quasi-complété d'un groupe décomposable. On en conclut, en se servant du théorème 2, qu'un groupe quasi-complet n'est jamais décomposable.

Le problème de la classification des f-groupes se ramène à la question de l'isomorphie des sous-groupes servants et partout denses des groupes quasi-complets.

CALCUL SYMBOLIQUE. — *Images des fonctions de Mathieu.*

Note de M. **Pierre Humbert**, présentée par M. Henri Villat.

L'ouvrage récemment paru de M. N. W. Mc Lachlan [1] sur les fonctions de Mathieu, contient les équations intégrales vérifiées par ces fonctions, et dont beaucoup sont nouvelles. En les utilisant, j'ai pu résoudre un problème qui, à ma connaissance, n'avait pas encore reçu de solution satisfaisante, celui de la représentation symbolique des fonctions de Mathieu.

Commençons par préciser, d'après Mc Lachlan, les notations pour les diverses fonctions.

A côté des fonctions classiques, $ce_m(x)$ et $se_m(x)$, solutions périodiques de l'équation

$$y'' + (a - 2k^2 \cos 2x)\, y = 0, \tag{1}$$

on introduit les fonctions modifiées, $Ce_m(x)$ et $Se_m(x)$, de période πi, satisfaisant à l'équation

$$y'' - (a - 2k^2 \operatorname{ch} 2x)\, y = 0. \tag{2}$$

On a, pour ces fonctions, des développements tels que

$$Se_{2n+1}(x) = \sum_{r=0}^{\infty} B_{2r+1}^{(2n+1)} \operatorname{sh}(2r+1)x,$$

où les B sont des constantes connues.

Mc Lachlan introduit diverses solutions de seconde espèce de l'équation (2), dont l'une est développable en série de fonctions K de Bessel

$$Gek_{2n+1}(x) = \frac{se_{2n+1}\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\pi k B_1^{(2n+1)}} \operatorname{th} x \sum (2n+1) B_{2r+1}^{(2n+1)} K_{2r+1}(-2ik \operatorname{ch} x).$$

Entre Se et Gek existe la relation intégrale suivante (où l'on suppose que

(1) *Theory and application of Mathieu functions*, Oxford, 1947.

toutes les fonctions de Mathieu y figurant correspondent au même paramètre k)

$$\mathrm{G}ek_{2n+1}(x) = -\frac{2\,i\,se_{2n+1}\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\pi\,\mathrm{B}_1^{(2n+1)}}\int_0^\infty e^{2ik\,\mathrm{ch}\,x\,\mathrm{ch}\,u}\,\mathrm{sh}\,x\,\mathrm{sh}\,u\,\mathrm{S}e_{2n+1}(u)\,du.$$

Or, si dans cette relation nous posons $\mathrm{ch}\,u = 1 + t$ et $2k\,\mathrm{ch}\,x = ip$, il vient

$$\mathrm{G}ek_{2n+1}\left(\mathrm{arg\,ch}\,\frac{ip}{2k}\right) = -\frac{2\,e^{-p}\,se_{2n+1}\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\pi\,\mathrm{B}_1^{(2n+1)}}\int_0^\infty e^{-pt}\sqrt{\frac{p^2}{4k^2}+1}\,\mathrm{S}e_{2n+1}[\mathrm{arg\,ch}(1+t)],$$

d'où la relation symbolique

$$\mathrm{S}e_{2n+1}[\mathrm{arg\,ch}(1+t)] \supset \frac{\pi k\,\mathrm{B}_1^{(2n+1)}}{se_{2n+1}\left(\frac{\pi}{2}\right)}\,\frac{p\,e^p}{\sqrt{p^2+4k^2}}\,\mathrm{G}ek_{2n+1}\left(\mathrm{arg\,ch}\,\frac{ip}{2k}\right).$$

On obtiendra de la même façon

$$\mathrm{S}e_{2n+2}[\mathrm{arg\,ch}(1+t)] \supset \frac{\pi k^2\,\mathrm{B}_2^{(2n+2)}}{se'_{2n+2}\left(\frac{\pi}{2}\right)}\,\frac{p\,e^p}{\sqrt{p^2+4k^2}}\,\mathrm{G}ek_{2n+2}\left(\mathrm{arg\,ch}\,\frac{ip}{2k}\right).$$

Il existe des formules analogues pour $\mathrm{C}e_{2n}$ et $\mathrm{C}e_{2n+1}$. L'application à ces diverses correspondances de la transformation donnant $f(\mathrm{ch}\,t - 1)$ permettra d'écrire, sous forme d'intégrale, l'image de $\mathrm{S}e_m(t)$ ou de $\mathrm{C}e_m(t)$. Comme $\mathrm{C}e(t) = ce(it)$, et $\mathrm{S}e(t)$, et $\mathrm{S}e(t) = -i\,se(it)$, on aura immédiatement les images des fonctions de Mathieu proprement dites.

THÉORIE DE L'ÉLASTICITÉ. — *Sur le flambement des poutres droites à section constante et à moment d'inertie variable.* Note de M. **Florin Vasilesco**, présentée par M. Paul Montel.

L'emploi, dans les constructions, de poutres de grandes dimensions constituées généralement par un assemblage de cornières (section constante) implique leur dotation d'un moment d'inertie variable. La résistance au flambement leur permet ainsi de supporter de grandes charges et de transmettre des efforts considérables. Aucune étude d'ensemble ne paraît avoir été faite à leur égard. Quelques cas particuliers ont seulement été considérés.

Dans cette Note seront exposés les principes d'une méthode générale d'étude des problèmes posés par l'emploi de poutres dont le moment d'inertie varie selon une loi quelconque. Leur application à quelques problèmes de la pratique courante témoignera de leur efficacité.

Le choix d'une variable intrinsèque u s'impose, au préalable, pour individualiser chaque point M de la fibre moyenne AB, de la poutre, qu'elle soit au repos ou fléchie et comprimée. Soient s, L, les arcs AM et AB dans le premier cas, σ et Σ les mêmes longueurs dans le second cas, x et l les longueurs Am

(m projection de M sur la corde AB) et de la corde AB, F la charge de bout, E le module de Young, S la section droite de la poutre.

L'égalité $s = \sigma + (F/ES)x$ est valable pour tout point M et en particulier pour le point B. Un raisonnement facile entraîne l'égalité des variables numériques u, v, w définies ainsi :

$$u = \frac{2s}{L} - 1, \qquad v = \frac{2\sigma}{\Sigma} - 1, \qquad w = \frac{2x}{l} - 1.$$

Par suite, les quantités s, σ et x s'expriment en fonction de la seule variable intrinsèque u, croissant de -1 à $+1$ pour un parcours de M de A à B. Le moment d'inertie $\mathcal{I}$ de la poutre au point $M(u)$ peut alors être mis sous la forme $\mathcal{I}(u) = I_0\, I(u)$, où $I(u)$ est une fonction numérique positive jamais nulle, égale à 1 pour $u = 0$, et où I_0 est le moment d'inertie au milieu O de la poutre.

Charges critiques. — La poutre est supposée fléchie et comprimée, en équilibre élastique sous l'action d'une charge de bout F. L'équation de la fibre moyenne déformée (courbe plane) Γ rapportée aux axes rectangulaires Ax (corde AB) et Ay dans le plan de la courbe, est de la forme

$$y = V(u) = V\left(\frac{2x}{l} - 1\right) = y(x),$$

et celle, bien connue, de l'équilibre élastique s'écrit

$$y''(x) = -\frac{F\, y(x)}{E\mathcal{I}}.$$

$I(u)$ est supposée paire.

1[er] *Cas : Déformations paires.* — La fonction $V(u)$ est paire. Il en est de même de $V''(u) = \varphi(u)$. La recherche de $y(x)$ se ramène à celle de $\varphi(u)$, solution de l'équation intégrale

$$(1) \qquad I(u)\varphi(u) + \frac{Fl^2}{4EI_0}\int_{-1}^{u} du \int_0^u \varphi(u)\, du = 0.$$

Mais $\varphi(u)$ est de la forme $C\,\Phi(u)$, où C est une constante et $\Phi(u)$ une solution paire de l'équation différentielle obtenue par une double dérivation de la précédente et assujettie, en outre, à la condition $\Phi(1) = 0$ imposée par la nécessité de vérifier (1). Cette condition exprime la nullité de la courbure de Γ en A et B et apparaît ainsi comme une conséquence de l'équilibre élastique et non comme une hypothèse. C'est une équation en $\lambda = (Fl^2/4EI_0)$. L'équilibre élastique a lieu pour les seules valeurs de λ, solutions de cette équation. En particulier, *la charge la plus grande incompatible avec un flambement pair de la poutre est*

$$F_0 = \frac{4\lambda_0 EI_0}{L^2},$$

où λ_0 est le plus petit zéro réel et positif de la fonction entière de λ

$$(2) \qquad 1 - \lambda\int_0^1 du \int_0^u \frac{du}{I(u)} + \lambda^2 \int_0^1 du \int_0^u \frac{du}{I(u)} \int_0^u du \int_0^u \frac{du}{I(u)} - \ldots.$$

Elle peut être appelée *charge critique paire*. Si $I(u) = 1$ (cas classique du moment d'inertie constant) la série exprime $\cos\sqrt{\lambda}$, d'où $\lambda_0 = (\pi^2/4)$ et F_0 devient la charge critique d'Euler.

La recherche exacte de λ_0 est du ressort de la théorie des fonctions de variable complexe. La pratique se contente d'une valeur approximative de λ_0 en raison des coefficients de sécurité qu'elle prévoit. La fonction $\Phi(u)$ est :

$$\Phi(u) = \frac{1}{I(u)}\left[1 + \lambda_0 \int_0^u du \int_0^u \frac{du}{I(u)} + \lambda_0^2 \int_0^u du \int_0^u \frac{du}{I(u)} \int_0^u du \int_0^u \frac{du}{I(u)} + \ldots\right]$$

2° *Cas : Déformations impaires*. [$V(u)$ impaire]. — L'équation différentielle est la même, mais (1) est changée. Le résultat est

La charge la plus grande incompatible avec un flambement impair de la poutre est

$$F_1 = \frac{4\lambda_1 EI_0}{L^2},$$

où λ_1 est le plus petit zéro réel et positif de la fonction entière de λ

$$1 - \lambda \int_0^1 du \int_0^u \frac{u}{I(u)} du + \lambda^2 \int_0^1 du \int_0^u \frac{du}{I(u)} \int_0^u du \int_0^u \frac{u}{I(u)} du - \ldots.$$

Elle peut être appelée *charge critique impaire*.

La fonction impaire $\Psi(u)$ analogue à $\Phi(u)$ admet cette série entre crochets, avec les limites supérieures 1 remplacées par u et λ par λ_1.

3° *Cas général : $I(u)$ est quelconque. Résultat. — La charge critique* (c'est-à-dire la plus grande charge de bout incompatible avec une déformation élastique non rectiligne de la poutre ou encore avec un flambement de celle-ci) *est la charge critique impaire de la poutre doublée symétriquement par rapport à une de ses bases.*

D'où l'utilité de la charge du 2e cas.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Remarques sur l'intégration approchée des équations du mouvement continu d'un fluide compressible*. Note (¹) de M. **Chin Shih Kên**, présentée par M. Joseph Pérès.

On sait que dans le cas de Molenbrœck-Tchapliguine, caractérisé par des relations du type

(1) $$p = p_0 - \frac{A}{\rho}, \qquad q^2 = \frac{A}{\rho^2} + B,$$

entre la pression p, la masse spécifique ρ et la vitesse q, le potentiel des vitesses Φ et la fonction de courant Ψ se réduisent dans le plan de l'hodographe

(¹) Séance du 8 octobre 1497.

convenablement repéré à des fonctions harmoniques conjuguées (mouvement subsonique) ou à des fonctions vérifiant l'équation élémentaire des ondes (mouvement supersonique).

M. J. Pérès a montré ([2]) que des réductions analogues pouvaient être obtenues pour des fonctions dérivant de Φ et Ψ par certaines transformations. Pour un couple quelconque φ, ψ des transformées qu'il envisage, on a des équations aux dérivées partielles

$$h\varphi'_\theta = \psi'_q, \qquad k\psi'_\theta = -\varphi'_q,$$

où h et k ne dépendent que de q et lorsque le rapport h/k est constant, ce qui caractérise certaines lois de dépendance entre p, q et ρ, on pourra, par changement de variable sur q et en modifiant ψ d'un facteur, se ramener à $h = k = 1$, ou à $h = -k = 1$.

Le cas le plus simple est celui des fonctions $\bar{\Phi}$ et $\bar{\Psi}$ dérivant de Φ et Ψ par la transformation de Legendre; les relations entre p, q, ρ sont alors

$$(2) \qquad p = p_0 + \mathrm{A}\int \frac{\rho^2\, d\rho}{(\rho^2 - \mathrm{B})^2}, \qquad q^2 = \frac{\mathrm{A}}{\rho^2 - \mathrm{B}}.$$

Lorsque B est positif, on fera sur q le changement de variable

$$q = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{B}}}\left(\chi - \frac{1}{\chi}\right),$$

et il apparaît immédiatement que $\bar{\Phi}$ et $\bar{\Psi}$ sont des fonctions harmoniques conjuguées de $\xi = \chi\cos\theta$ et $\eta = \chi\sin\theta$, $\bar{\Phi} + i\bar{\Psi}$ est fonction analytique de $\chi e^{-i\theta}$. Lorsque B est négatif, on voit apparaître de même des solutions de l'équation élémentaire des ondes. Ce cas est envisagé en détail dans la Note de M. Pérès.

Les relations entre p, q et ρ du type (2), pas plus que celles du type (1), ne sont rigoureusement applicables à des fluides réels. Mais on peut envisager un fluide fictif satisfaisant (1) ou (2) et, s'il s'agit d'un mouvement dans lequel les vitesses ne s'écartent pas trop d'une valeur q_1, adapter les constantes du fluide fictif de façon qu'il donne, pour $q = q_1$, même ρ, même p, même nombre de Mach M que le fluide réel. Le mouvement réel sera ainsi approximativement défini par des fonctions harmoniques (cas subsonique) ou par des fonctions vérifiant l'équation élémentaire des ondes (cas supersonique).

Sans aborder l'étude d'autres extensions envisagées dans la Note citée, la question se pose de savoir quel est le plus avantageux des fluides fictifs (1) ou (2), pour la représentation approchée d'un fluide réel. Cette question peut être envisagée de divers points de vue.

a. L'adaptation des constantes assure que, pour la valeur q_1, les deux courbes $q(\rho)$ du fluide réel et du fluide fictif sont tangentes. Par comparaison

([2]) *Comptes rendus*, **219**, 1944, p. 501.

des courbures, on constate immédiatement que (1) est préférable en subsonique, (2) en supersonique.

b. On peut, d'autre part, envisager le rapport h/k, lequel, dans le cas du fluide réel isentropique, est égal à $(1 - M^2)/\rho^2$ pour les fonctions Φ et Ψ et est égal à $1/(1 - M^2)\rho^2$ pour les fonctions $\overline{\Phi}$ et $\overline{\Psi}$. Les solutions basées sur le fluide fictif seront donc particulièrement satisfaisantes quand la variation de h/k est lente et au voisinage des zéros de la dérivée $(h/k)'$. On reconnaît sans peine que la dérivée de $(1 - M^2)/\rho^2$ ne s'annule que pour $M = 0$, h/k étant alors constant au quatrième ordre près. La dérivée de $1/(1 - M^2)\rho^2$ s'annule pour $M = 0$ et pour $M = 2/\sqrt{3 - \gamma} = 1,58$; pour cette valeur, l'approximation du fluide fictif (2) est particulièrement indiquée. On reconnaît d'ailleurs, sur les courbes représentatives des deux expressions h/k, que la même conclusion vaut en général pour $M \gg 1$.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Phénomènes d'électrisation dans une tuyère supersonique*. Note (1) de M. **Armel Sevault**, présentée par M. Georges Darrieus.

La présente Note est relative à des recherches concernant des effluves qui se présentent dans les souffleries supersoniques. Ce phénomène avait été signalé par M. Fernand Tesson (2) qui observait, en hiver et par temps humide, dans une tuyère de nombre de Mach égal à 2, une aigrette lumineuse en V à la pointe d'une maquette ogivale, les 2 branches du V étant dirigées vers l'amont.

Opérant en écoulement plan, nous disposions d'une tuyère dont la chambre d'expérience avait un nombre de Mach égal à 1,80. La figure 1 montre le

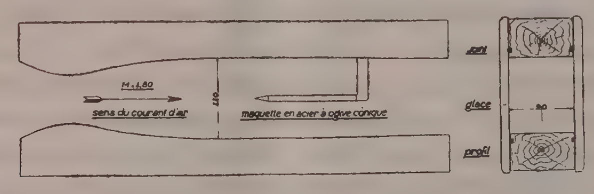


Fig. 1.

schéma de l'installation; on voit que l'étanchéité au plan de joint *glaces-profils-bois* était assurée par des bandes de caoutchouc. Le support de la maquette constituée par un cylindre en acier à ogive conique (angle au sommet 22°30′) traversait le profil en bois et était isolé de la masse; la pointe de la maquette était dirigée vers l'amont. Nous avons détendu de l'air comprimé de ville.

(1) Séance du 20 octobre 1947.
(2) *Comptes rendus*, 218, 1944, pp. 268-270.

Après quelques minutes de soufflage nous avons observé une effluve très lumineuse dont la figure 2 montre la photographie de l'aigrette en projection verticale. Nous avons constaté qu'en projection horizontale, l'aigrette est en forme de V dont les extrémités des 2 branches rejoignent les glaces (*fig.* 3).

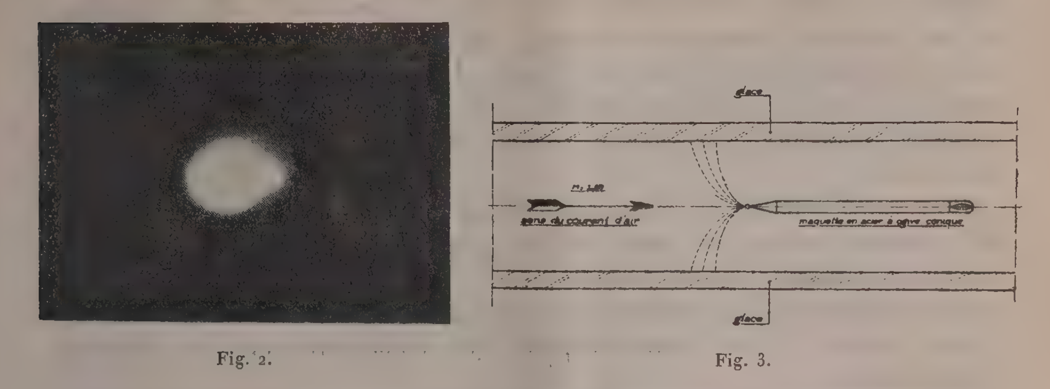


Fig. 2. Fig. 3.

Nous avons procédé à des mesures de tension entre une glace et la maquette. Pour cela, le montage de la figure 4 a été réalisé. Une feuille d'aluminium a

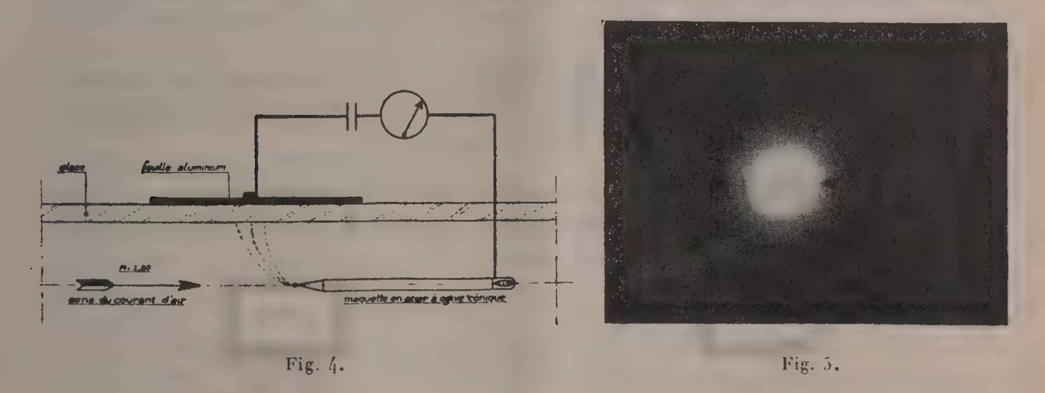


Fig. 4. Fig. 5.

été fixée à l'une des glaces par un film d'huile; au moyen d'un électromètre statique on a mesuré la tension *pointe-glace*. L'isolement de la glace n'ayant pas été spécialement recherché, on n'a pu connaître qu'une valeur minimum de cette tension. Elle est égale à 12 kV.

La figure 5 montre l'effluve déviée par une plaque métallique recouvrant un demi-profil.

Un spectre dans le visible a montré qu'on se trouvait en présence d'un spectre de bandes dont les têtes sont tournées vers les courtes longueurs d'onde; on peut donc présumer qu'aucune ionisation sensible n'accompagne ce phénomène d'électrisation. Ceci sera confirmé ou non par une étude ultérieure en ultra-

violet. L'examen du spectre de bandes montre que la luminescence de l'effluve est due au second groupe positif de la molécule d'azote.

La détente de l'air humide à $M = 1,80$ provoque, dans la chambre d'expérience, une température voisine de $-90°C.$, et par suite il se forme des particules de glace dont la charge est fortement positive ([3]). Par frottement ou par influence, la maquette se charge négativement, ainsi que le prouve la présence d'une tache brillante sur la pointe. Le phénomène d'électrisation des glaces est complexe, mais en définitive leur potentiel est positif par rapport à celui de la maquette, et la distance *maquette-glaces* est telle qu'il se produit une effluve.

Nous avons constaté, en outre, la présence de traits de feu longs de 5 à 8^{cm} qui couraient le long des glaces. Ils ont pour origine des taches lumineuses voisines des glaces. Ce phénomène est dû à la présence de particules métalliques provenant des canalisations extérieures. Elles s'incrustent dans les profils de bois et, tout comme la pointe de la maquette, elles se chargent négativement.

Ces phénomènes d'électrisation sont gênants pour l'étude des écoulements par des procédés basés sur la méthode des ombres. Pour les éliminer il suffit de relier à la masse les deux glaces situées de part et d'autre des profils.

MÉCANIQUE APPLIQUÉE. — *Perfectionnement à la suspension des véhicules routiers. Amortisseur à relaxation.* Note ([1]) de M. **Christian Bourcier de Carbon**, présentée par M. Albert Caquot.

Considérons l'oscillation d'une masse m (*fig.* 1) suspendue sur un point fixe O par l'intermédiaire d'un ressort S de rigidité K, et dont le mouvement

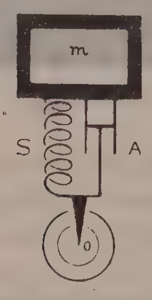


Fig. 1. — Schéma de principe de l'amortisseur hydraulique classique.

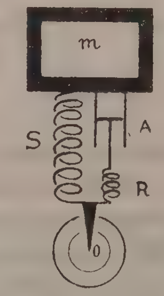


Fig. 2. — Schéma de principe de l'amortisseur à relaxation.

se trouve freiné par un amortisseur A introduisant une résistance $f.dz/dt$

([3]) Travaux de Dewar.

([1]) Séance du 20 octobre 1947.

proportionnelle à la vitesse dz/dt de la masse m. On sait que, z désignant l'écartement de la masse m par rapport à sa position d'équilibre, son mouvement satisfait à l'équation classique

$$m\frac{d^2z}{dt^2}+f\frac{dz}{dt}+Kz=0.$$

Supposons maintenant qu'on installe en série avec l'amortisseur A un ressort R de rigidité K′ (*fig.* 2), et désignons par F la réaction de l'amortisseur sur la masse m. Il est évident que, par suite de l'effet du ressort R, la loi d'action de l'amortisseur se trouve être complètement modifiée et que F n'est plus proportionnelle à la vitesse dz/dt. Il est facile de voir que l'on a

$$(1)\qquad \frac{dF}{dt}=K'\left(\frac{dz}{dt}-\frac{F}{f}\right)$$

ce qui nous donne

$$(2)\qquad F=K'e^{-\lambda t}\int_0^t e^{\lambda t}\frac{dz}{dt}dt+F_0e^{-\lambda t},$$

lorsqu'on pose $\lambda=(K'/f)$. Nous voyons ainsi que la réaction de l'amortisseur ne dépend plus de la vitesse à l'instant considéré, mais qu'elle dépend des vitesses antérieures. En d'autres termes, *la réaction de l'amortisseur est devenue une fonction complexe du passé mécanique du système*.

Il est facile de voir que la propriété fondamentale de la réaction F du système A + R (*fig.* 2), c'est de *se relâcher* spontanément avec une vitesse proportionnelle à sa grandeur. Par opposition aux amortisseurs *aux distances* ou *aux vitesses*, nous pouvons dire qu'un semblable système constitue un amortisseur *à relaxation*, cette terminologie étant conforme au sens donné à ce mot par Maxwell dans ses études sur la physique du corps solide.

Avec cet amortisseur, le mouvement libre de la masse m satisfait à l'équation

$$(3)\qquad \boxed{mf\frac{d^3z}{dt^3}+mK'\frac{d^2z}{dt^2}+f(K+K')\frac{dz}{dt}+KK'z=0.}$$

Il est facile de voir que l'équation caractéristique associée admet la racine triple $s=-\sqrt{3}(\sqrt{K/m})$ lorsque

$$K'=8K,\qquad f=\frac{8}{3\sqrt{3}}\sqrt{mK}=1,54\sqrt{mK}.$$

Si nous comparons l'équation classique qui nous donne la racine double $s=-\sqrt{K/m}$ lorsque $f=2\sqrt{mK}$, nous voyons, d'une part, que *l'amortisseur à relaxation permet de réaliser l'apériodicité du mouvement avec un coefficient de résistance f sensiblement inférieur à celui qui est nécessaire avec l'amortisseur hydraulique classique*; d'autre part, que *l'amortisseur à relaxation permet d'obtenir un plus grand exposant d'amortissement s, c'est-à-dire un retour plus*

rapide vers la position d'équilibre. Ces deux remarques nous montrent la supériorité de l'amortisseur à relaxation dans le domaine des réglages apériodiques.

Dans le cas des oscillations périodiques amorties, la solution générale de l'équation (3) est de la forme $z = A e^{-\alpha t} \sin \omega t + B e^{-\beta t}$, tandis que celle de l'équation classique est $z = A e^{-\alpha t} \sin \omega t$. Dans l'un et l'autre cas, c'est essentiellement l'exposant α qui mesure l'efficacité de l'oscillation. Or il est possible de montrer que *pour une même valeur de l'exposant d'amortissement α choisie arbitrairement, l'amortisseur à relaxation permet toujours de se contenter d'un coefficient de résistance f inférieur à celui qui est nécessaire avec l'amortisseur hydraulique classique* Cette remarque établit la supériorité de l'amortisseur à relaxation dans le domaine des réglages périodiques.

Enfin, si nous calculons l'énergie W dissipée par l'amortisseur dans le cycle $z = A \sin \omega t$, nous trouvons

$$\boxed{W = \pi A^2 K' \frac{f \omega K'}{f^2 \omega^2 + K'^2}.}$$

Donc, contrairement à l'amortisseur hydraulique classique pour lequel nous avons $W = 2\pi^2 A^2 (f/T)$, l'énergie dissipée par l'amortisseur à relaxation passe par le maximum $W_m = (\pi/2) A^2 K'$ pour la période $T_m = (2\pi f/K')$. Nous avons donc un dissipateur d'énergie réalisant un maximum de dissipation pour une fréquence déterminée.

Ces différentes remarques nous permettent de prévoir qu'un amortisseur à relaxation convenablement calculé devrait constituer un progrès dans l'application à la suspension automobile. C'est ce qu'a confirmé l'expérience : l'amortisseur à relaxation confère au véhicule un roulement beaucoup plus doux, plus souple, plus ouaté que l'amortisseur hydraulique classique et l'amélioration s'est révélée d'emblée très sensible.

MÉCANIQUE ONDULATOIRE. — *Étude physique directe d'une expérience comportant une statistique sur le temps*. Note (1) de M. **Olivier Costa de Beauregard**.

Les lois intégrales, en relativité classique, sont énoncées relativement à des hypersurfaces tridimensionnelles $\mathcal{E}$, curvilignes en général; leur forme, qui est ainsi tensoriellement covariante, doit de plus être invariante vis-à-vis des changements de familles $\mathcal{E}$. Physiquement, les $\mathcal{E}$ sont choisies du genre espace pour que leurs instants-points soient dans l'*ailleurs* les uns des autres; mathématiquement, l'on est sûr ainsi que toutes les trajectoires d'Univers de points matériels sont coupées une fois et une seule, mais, en ce qui concerne l'expres-

(1) Séance du 20 octobre 1947.

sion des formules, seule importe cette dernière condition; par exemple, s'il arrivait exceptionnellement que, dans un certain repère galiléen $\mathcal{G}_0$, les lignes $\mathcal{C}$ d'hypercourant d'un fluide électrisé satisfassent à la condition

$$(1) \qquad \frac{dx_1}{dx_4} > 0,$$

l'on pourrait prendre x_1 comme paramètre auxiliaire d'évolution, et calculer la charge Q (conservative) au moyen d'une intégration *à x_1 constant.* De même, en théorie de Dirac, si le quadri-courant $i\psi^{+}\gamma^0\gamma^i\psi$ satisfait en tout instant-point à la condition (1), l'on pourra normer le ψ suivant

$$(2) \qquad \iiint_{x_1=a_1} \psi^{+}\gamma^0\gamma^1\psi\, dx_2\, dx_3\, dx_4 = 1.$$

Par définition de l'*opération* $\mathcal{O}_1$, supposons alors qu'une onde incidente $\psi_{(1)}$ satisfaisant à l'hypothèse précédente tombe sur un écran plan indéfini fixe dans $\mathcal{G}_0$ d'équation (3_1), parfaitement absorbant, comportant une ouverture variable en fonction du temps $t = x_4/ic$ d'équation (3_2)

$$(3) \qquad x_1 = a_1, \qquad \mathcal{O}_1(x_2, x_3, x_4) = \text{const.};$$

dans l'Univers, cette opération de diffraction et hachage combinés s'interprète comme une diffraction par un hyperécran du genre temps.

La probabilité pour que l'électron franchisse l'écran ne diffère pas, mathématiquement, de la proportion de nombreux électrons de même ψ franchissant l'écran; celle-ci, d'après un raisonnement élémentaire classique, est fournie par l'intégrale (2) étendue à l'ouverture $\mathcal{O}_1$. Pour l'électron unique, l'opération $\mathcal{O}_1$ équivaut à une mesure, faite pour x_1 prédéterminé, de ses coordonnées x_2 et x_3 *et de son temps* x_4/ic; (2) fournit la fonction de répartition de probabilité correspondante.

De même, si $\rho u^i v^j \equiv \rho_0 U^i V^j$ désigne le tenseur inertique asymétrique d'un fluide préquantique à spin [2], le raisonnement classique en question fournit l'expression (4_1) pour l'impulsion-énergie totale émergente; en théorie de Dirac, (4_2) sera donc la valeur moyenne probable de l'impulsion-énergie de l'électron s'il franchit l'écran [3],

$$(4) \qquad \iiint_{x_1=a_1} \rho u^i v^1\, dx_2\, dx_3\, dt; \qquad \iiint_{\mathcal{O}_1} \psi^{+}\gamma^0[P^i]\gamma^1\psi\, dx_2\, dx_3\, dx_4.$$

Toujours d'après la physique classique, l'onde émergente $\psi_{(2)}$ peut être représentée par la superposition d'ondes planes

$$(5) \qquad \psi_{(2)} = h^{-\frac{3}{2}} \iiint_{-\infty}^{+\infty} \zeta(p^2, p^3, p^4)\, e^{-\frac{2\pi i}{h} p^k x_k}\, dp^2\, dp^3\, dp^4,$$

(2) *Comptes rendus*, **218**, 1944, p. 31 et *Journal de Math.*, **22**, 2, 1943, pp. 133-136.

(3) Sur les rapports du tenseur de Tetrode avec les courants de Dirac et de Gordon (voir *Journal de Math.*, op. cit., pp. 171-174).

avec

$$(6)\qquad \zeta(p^2, p^3, p^4) = h^{-\frac{3}{2}} \iiint_{\mathcal{O}_1} \psi_{(1)}(x_1 = a_1, x_2, x_3, x_4)\, e^{\frac{2\pi i}{h} p^i x i}\, dx_2\, dx_3\, dx_4;$$

nous avons considéré le cas de l'électron libre, et désigné par p^i/h la quadri-fréquence des ondes planes. L'onde émergente est ainsi développée suivant les fonctions propres des trois dernières composantes de l'impulsion-énergie de l'électron; si un second écran $x_1 = a_2$, $a_2 > a_1$, lui aussi percé d'une ouverture variable $\mathcal{O}_2$, est placé à une distance $a_2 - a_1$, grande devant les dimensions des hyperouvertures $\mathcal{O}_1$ et $\mathcal{O}_2$, l'*opération* $\mathcal{O}_2$ succédant à $\mathcal{O}_1$ équivaut à la sélection de l'une des ondes planes (5), et à la détermination des trois dernières composantes de l'impulsion-énergie de l'électron $\psi_{(2)}$ faite pour x_1 prédéterminé; l'on voit ainsi que (5) donne la fonction de répartition de p^2, p^3, p^4.

Les trois résultats précédents coïncident parfaitement avec ceux qu'aurait fournis l'application au cas considéré du formalisme quantique généralisé récemment proposé par nous ([4]). Dans le cas général, les brutales simplifications d'un exemple choisi *ad hoc* ne se retrouveront pas; comme on ne saura rien *a priori* du quadri-courant de Dirac, il faudra nécessairement utiliser des hypersurfaces $\mathcal{E}(\theta)$ du genre espace.

Physiquement, la composante

$$(7)\qquad p^1 = +\sqrt{-c^2 m_0^2 - (p^2)^2 - (p^3)^2 - (p^4)^2}$$

de l'impulsion masse doit être réelle, et cela est impossible si l'on n'a pas, dans (5) et (6),

$$(8)\qquad p^4 \leqq -icm_0 \quad \text{ou} \quad p^4 \geqq +icm_0;$$

en théorie de Dirac, l'hypothèse (7_1) doit *nécessairement* être conservée. En un certain sens, $\mathcal{O}_2$ succédant à $\mathcal{O}_1$, équivaut à une détermination *a posteriori* de la direction suivie par l'électron entre a_1 et a_2, $\Delta x_2/(a_2 - a_1)$, $\Delta x_3/(a_2 - a_1)$, *et de la durée de parcours* $\Delta x_4/ic$ ou de la vitesse moyenne $\Delta x_4/ic\,(a_2 - a_1)$; quelle que puisse être l'interprétation de la causalité du type *avancé* ainsi associée à l'électron à énergie négative, il semble que le hachage d'un faisceau monocinétique soit susceptible de faire passer un pourcentage déterminé d'électrons dans des états à énergie négative.

THERMODYNAMIQUE. — *Complément sur la loi d'échange d'un corps dissous entre deux de ses solvants non miscibles mis en présence.* Note ([1]) de M. **Adrien Mondiez**, présentée par M. Joseph Pérès.

Dans une précédente communication ([2]), nous avons montré que cette loi pouvait se mettre, lorsque les concentrations sont uniformes dans les solvants

([4]) *Comptes rendus*, 225, 1947, p. 626.

([1]) Séance du 20 octobre 1947.

([2]) Voir *Comptes rendus*, 225, 1947, p. 673.

mais variables avec le temps, sous la forme

(1) $$dP = qS\left(\frac{C}{\Gamma} - \frac{c}{\gamma}\right)d\theta.$$

Dans les échangeurs industriels, on réalise souvent un régime permanent dans lequel les deux solutions circulent au contact l'une de l'autre à débits constants avec le temps, parallèlement et en sens inverses, à travers des épaisseurs de gravier ou autres diviseurs de veines destinés à donner une grande valeur à la surface d'échange. Alors, le temps n'intervient plus tandis que les concentrations sont variables d'une extrémité à l'autre de l'échangeur, et l'équation d'échange doit s'écrire en poids de corps dissous dP qui traverse dans l'unité de temps la surface de séparation dS de part et d'autre de laquelle les concentrations sont C et c

(2) $$dP = q\left(\frac{C}{\Gamma} - \frac{\gamma}{c}\right)dS,$$

à laquelle on doit ajouter pour la circulation méthodique

(3) $$dP = -V\,dC = v\,dc,$$

où V et v sont les débits en volume des deux solutions, celle de débit V étant supposée céder le corps dissous.

En posant

(4) $$\frac{C}{\Gamma} = T, \quad \frac{c}{\gamma} = t, \quad \frac{V\Gamma}{v\gamma} = r, \quad \frac{1-r}{V\Gamma}q = m,$$

on fait apparaître la parfaite analogie de ces égalités avec celles qui sont classiques pour les échanges permanents de chaleur. Par les mêmes calculs, on établit alors les valeurs finales de C et c en fonction des valeurs initiales et de la surface totale d'échange S_1. On obtient ainsi, pour C_1 par exemple, l'expression

(5) $$C_1 = \frac{C_0(1-r) + \frac{\Gamma}{\gamma}c_0(e^{mS_1}-1)}{e^{mS_1}-r},$$

qui, pour $c_0 = 0$, comme cela se présente souvent, se réduit à

(6) $$C_1 = C_0\frac{1-r}{e^{mS_1}-r}.$$

Dans ces formules, les éléments les plus difficiles à connaître sont toujours q et S_1 ; parfois il s'y ajoute Γ comme dans le cas de la nicotine qui est miscible en toutes proportions avec l'eau, de sorte que le paramètre dont il faut vérifier la constance pour vérifier la loi d'échange est $qS_1\Gamma$ qui figure dans mS_1.

Les mesures effectuées sur un échangeur Boquien, destiné à faire passer la nicotine d'une solution d'eau ammoniacale dans du pétrole, ont permis de bien vérifier cette constance malgré les incertitudes d'une marche industrielle quant

à la permanence de débits. Une série d'expériences sur les mêmes appareils, conduites avec beaucoup de soin et qui a porté sur neuf semaines consécutives, a ensuite fourni, le calcul ayant été fait pour l'ensemble de chaque semaine, les valeurs suivantes pour qS_1/Γ : 1440, 1285, 1367, 1380, 1297, 1351, 1280, 1371, 1449, dont la valeur moyenne est de 1358 par rapport à laquelle les écarts maxima sont respectivement de $+6{,}7\%$ et $-5{,}7\%$.

La loi d'échange étant encore une fois vérifiée, on peut l'utiliser, non seulement pour déterminer les dimensions d'appareils à construire après essais sur modèles réduits pour déterminer les paramètres, mais aussi pour choisir les meilleurs modes de couplage de plusieurs appareils lorsqu'on est obligé pour des raisons diverses de renoncer à l'installation d'un seul. Si l'on juge inutile de faire apparaître Γ et γ, on peut l'écrire

$$dP = qS\,(C - kc)\,d\theta \qquad \text{ou} \qquad dP = q\,(C - kc)\,dS, \tag{7}$$

suivant qu'il s'agit d'un régime variable ou permanent.

ÉLECTRONIQUE. — *Mesure du pouvoir émissif monochromatique des cathodes à oxydes.* Note de M. **Robert Champeix**, présentée par M. Camille Gutton.

I. La connaissance aussi précise que possible de la température des cathodes à oxydes est nécessaire si l'on veut étudier leur comportement. Or la mesure directe de cette température (à l'aide d'un thermocouple en particulier) n'est pas facile, car en raison de la mauvaise conductibilité des oxydes de Ba et de Sr, la mesure peut être faussée par le refroidissement produit par le couple. Par contre l'emploi d'un pyromètre optique permet de déterminer facilement la température de brillance, à condition de connaître le pouvoir émissif monochromatique ε_λ.

II. Quelques expérimentateurs (1) ont mesuré ce facteur par le procédé du réflectromètre. Les valeurs trouvées pour ε_λ sont comprises suivant les auteurs entre 0,09 et 0,3. De notre côté, nous avons utilisé le procédé suivant :

Mesurons les températures de brillance T'_1 et T'_2 de notre cathode pour deux puissances de chauffage différentes W_1 et W_2. Les lois de Wien et de Stefan-Boltzmann nous permettent d'écrire

$$\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T'_1} = \frac{\lambda}{c_2}\,\mathrm{Ln}\,\varepsilon_\lambda, \tag{1}$$

$$\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T'_2} = \frac{\lambda}{c_2}\,\mathrm{Ln}\,\varepsilon_\lambda, \tag{2}$$

$$W_1 = S\varepsilon_t\sigma T_1^4, \tag{3}$$

$$W_2 = S\varepsilon_t\sigma T_2^4; \tag{4}$$

(1) G. E. Moore et H. W. Allison, *Journal of App. Phys.*, 12, 1941, p. 431.

T_1 et T_2 sont les températures vraies de la cathode, S sa surface, ε_t le pouvoir émissif total, λ la longueur d'onde du filtre du pyromètre optique (dans notre cas $\lambda = 0^{\mu},66$) C_2 et σ des constantes de radiation ($C_2 = 1,432$ cm/deg, $\sigma = 5,77 \cdot 10^{-15}$ erg/cm²/sec/deg⁴).

De ces équations on tire

$$\log_{10}\varepsilon_\lambda = 9400 \frac{T'_2 - T'_1\left(\frac{W_2}{W_1}\right)^{\frac{1}{4}}}{T'_1 T'_2\left[\left(\frac{W_2}{W_1}\right)^{\frac{1}{4}} - 1\right]}$$

On voit que ce procédé permet d'éliminer la surface S de la cathode, mal connue en raison de la rugosité des oxydes.

III. L'application de cette formule exige que la totalité de l'énergie utilisée au chauffage de la cathode soit dissipée sous forme de rayonnement. Pour éliminer les pertes par conduction, nous avons réalisé nos tubes expérimentaux de la façon suivante : un ruban de nickel recouvert d'oxydes de Ba et de Sr est tendu dans l'axe d'une ampoule vidée. Deux petits fils de tungstène sont soudés sur le nickel, délimitant ainsi une zone dans laquelle la température du ruban est homogène. Ces fils permettent de mesurer la d. d. p. aux bornes de la partie du filament ainsi délimitée, et connaissant le courant dans le filament, de mesurer la puissance de chauffage de cette portion du ruban.

Nous avons réalisé un certain nombre de tubes expérimentaux comportant des filaments de différentes dimensions, et nous avons pu constater que le pouvoir émissif spectral des cathodes à oxydes varie beaucoup d'une cathode à l'autre, puisque les valeurs que nous avons trouvées vont de 0,07 à 0,26. Il reste à déterminer la raison de telles différences, et en particulier à rechercher si le pouvoir émissif monochromatique n'est pas fonction du degré d'activation de la cathode.

PHOTOÉLECTRICITÉ. — *Additivité des effets des flux lumineux frappant des régions différentes d'une photopile au sélénium.* Note [1] de M. **Jean Terrien** et Mme **Claire Anglade**, présentée par M. Albert Pérard.

On sait que l'une des électrodes d'une photopile au sélénium est une couche métallique mince transparente; le courant est recueilli à la périphérie. Si l'on éclaire une région limitée, des courants traversent cette couche mince, des différences de potentiel apparaissent entre ses divers points; elles se répartissent différemment selon l'emplacement et la forme de la région éclairée. En résulte-t-il des variations des propriétés de la photopile?

Pour chercher une réponse à cette question, une photopile Tungsram S 44 (n° 10 5748-5) a été soumise aux essais suivants : on éclairait diverses régions de sa surface, séparément, puis simultanément, et l'on mesurait dans chaque

---

[1] Séance du 20 octobre 1947.

cas le courant débité par la photopile sur un circuit dont la résistance était 1720 ohms.

Le montage était réalisé de la façon suivante. On formait sur la photopile l'image d'un écran transformable, éclairé au moyen d'un condenseur. La source de lumière était une lampe à bas voltage (régime contrôlé : 6 V, 3,5 A) alimentée par des accumulateurs. Les courants étaient mesurés par les déviations d'un galvanomètre dont la sensibilité était $7{,}5.10^{-9}$ A/mm à 1 m. Deux types d'écrans ont été utilisés : 1° Écran ajouré par des ouvertures en forme d'anneaux concentriques permettant d'éclairer séparément ou simultanément trois anneaux centrés sur la photopile; l'ouverture centrale n° 1 est en réalité un disque, qui éclaire le milieu de la photopile, les ouvertures 2 et 3 sont séparées par des anneaux obscurs. 2° Écran percé de six trous pouvant être masqués ou démasqués individuellement. Ces ouvertures sont circulaires, l'une, n° 1, est centrée sur la photopile, les cinq autres sont réparties autour de la première.

Nous avons obtenu les résultats suivants :

1° *Écran à anneaux.*

Ouvertures démasquées.	Déviations du galvanomètre (moyenne de plusieurs séries).	Somme calculée.	Différence % (obs.-calc.).
1	9,8	–	–
2	69,9	–	–
3	80,2	–	–
1 + 2	79,5	79,7	−0,25
1 + 3	89,8	90	−0,22
2 + 3	151	150,1	+0,60
1 + 2 + 3	160,8	159,9	+0,57

2° *Écran à 6 ouvertures.*

Ouvertures démasquées.	Déviations du galvanomètre (moyenne de plusieurs séries).	Somme calculée.	Différence % (obs.-calc.).
1	18,5	–	–
2	23	–	–
3	27,7	–	–
4	30,5	–	–
5	26,1	–	–
6	21,3	–	–
1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6	147,7	147,1	+0,40
2 + 3 + 4 + 5 + 6	129,2	128,6	+0,46
3 + 4 + 5 + 6	106,1	105,6	+0,47
4 + 5 + 6	78,2	77,9	+0,38
5 + 6	47,6	47,4	+0,42

L'examen des deux tableaux précédents montre que, lorsque plusieurs régions sont éclairées simultanément, le courant photoélectrique débité par la photopile est égal à la somme des courants obtenus lorsque chacune de ces

régions est éclairée seule. Autrement dit, la sensibilité en un point n'est pas affectée par l'éclairement d'un point voisin, avec l'approximation de nos mesures, que nous estimons à environ ± 0,5 %.

RAYONS X. — *Étude des couches superficielles au moyen des rayons* X. Note [1] de M. **Charles Legrand.**

Le problème de l'étude de la structure des couches superficielles métalliques ou autres est d'une importance considérable; pour le résoudre, on s'adresse surtout à la diffraction des rayons X et à celle des électrons. Mais les rayons X sont en général trop pénétrants et les électrons pas assez, ce qui ne permet pas d'explorer efficacement les régions comprises entre 0,1 et 1 micron, qui sont cependant spécialement intéressantes.

En particulier, J. Bénard [2] et d'autres auteurs ont préconisé la méthode dite *en retour* qui utilise les rayons X diffractés en arrière de l'échantillon. Dans ce cas, le faisceau arrive normalement à la surface à étudier; une épaisseur relativement importante diffracte utilement. Afin d'élaborer une méthode capable de localiser la diffraction dans une zone aussi superficielle que possible, nous avons cherché d'abord à préciser la notion d'épaisseur de matière contribuant effectivement à la diffraction dans une direction donnée.

Soient (*fig.* 1) x le trajet OA d'un rayon incident tombant sous l'angle α sur

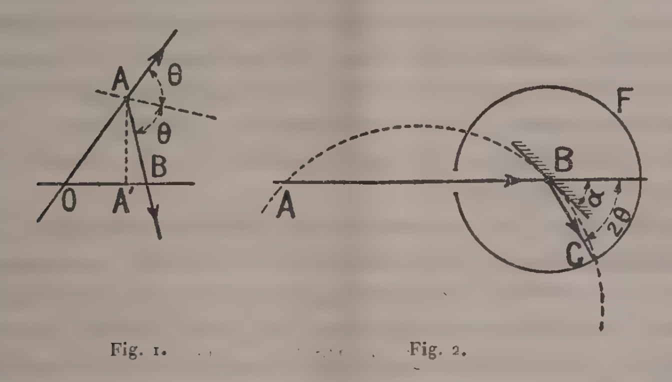


Fig. 1. Fig. 2.

la face plane OB d'une substance polycristalline de coefficient d'absorption μ pour la radiation employée, y le parcours AB d'un rayon diffracté issu de A et correspondant à l'angle de Bragg θ.

L'énergie diffractée correspondant à l'absorption dans un parcours dx est

$$dI = I_0 e^{-\mu(x+y)}\, dx,$$

(1) Séance du 20 octobre 1947.

(2) *Métaux et Corrosion*, **21**, 1946, p. 33.

I_0 étant l'intensité du rayonnement en O. Pour le parcours x du rayon incident

$$I_x = \frac{I_0}{\mu\left(1 + \frac{\sin\alpha}{\sin(2\theta - \alpha)}\right)}\left[1 - e^{-\mu x\left(1 + \frac{\sin\alpha}{\sin(2\theta-\alpha)}\right)}\right],$$

ou en posant $k = 1 + [\sin\alpha/\sin(2\theta - \alpha)]$

$$I_x = \frac{I_0}{\mu k}(1 - e^{-\mu k x}).$$

Le rapport $I_x/I_\infty = 1 - e^{-\mu k x}$ permet de calculer la limite supérieure de l'épaisseur responsable d'une fraction définie de l'énergie diffractée dans une direction donnée.

Le choix de cette fraction est évidemment arbitraire; si l'on pose par exemple $1 - e^{-\mu k x} = 4/5$, on tire $\text{Log}.5 = \mu k x$ et $x = 1^{\text{cm}},6/\mu k$.

On évalue ainsi le parcours x responsable des 4/5 de l'énergie reçue par le film dans la direction considérée. L'épaisseur correspondant à ce parcours sera $e = x \sin\alpha$.

Pour rendre e aussi petit que possible, il faudra soit :

1° Choisir pour α de très faibles valeurs; c'est la solution du rayonnement incident rasant;

2° Rendre k aussi grand que possible, ce qui entraîne de faibles valeurs pour $2\theta - \alpha$: c'est le rayon diffracté alors qui émerge sous un petit angle.

Bien entendu, le calcul n'est valable que pour une raie de diffraction déterminée. Les autres raies du diagramme correspondent à des *épaisseurs diffractantes utiles* différentes et calculables à l'aide de la même relation. Un montage expérimental convenable (*fig.* 2) a été réalisé en combinant la méthode de focalisation en rayonnement monochromatique de A. Guinier (3) avec un montage décrit par Brentano (4).

L'échantillon plan B est au centre de la chambre cylindrique E. Le rayonnement monochromatique fourni par un quartz courbé (non représenté) est focalisé en A. Le cercle de focalisation passe par A, est tangent au plan B et coupe E en C. La relation $\sin\alpha/\sin(2\theta - \alpha) = AB/BC$ fournit la position de A si l'on se donne $2\theta - \alpha$ pour une raie de diffraction déterminée. La focalisation est exacte en C, satisfaisante dans un domaine voisin et d'autant moins bonne que l'on s'éloigne davantage de C.

L'expérience montre que si l'on veut éviter des rapports AB/BC trop grands, il est possible d'admettre une focalisation approchée, si l'on désire, par exemple, comparer l'aspect d'une raie de diffraction après différents traitements de l'échantillon.

---

(3) *Ann. de Phys.*, **12**, 1939, p. 161; *Traité de radiocristallographie*, chap. VI, 1945, p. 136.

(4) *Proc. of the Phys. Soc.*, **37**, 1925, p. 184; **47**, 1935, p. 932; **49**, 1937, p. 61.

Des aciers inoxydables polis différemment ont été étudiés par cette méthode. De l'aspect de la raie (110), on a pu déduire pour l'un d'eux un écrouissage affectant une épaisseur inférieure à $1^{\mu},5$. Des différences d'orientation ont été mises en évidence dans les régions voisines des deux faces d'une feuille d'aluminium laminé d'épaisseur 40 microns, les deux faces ayant subi un traitement thermique différent.

En résumé, la méthode permet l'examen d'épaisseurs connues, comprises entre 0,1 et quelques microns; ces épaisseurs dépendent d'ailleurs de la nature de l'échantillon et de la longueur d'onde de la radiation X. Elle permet ainsi l'exploration d'un domaine qu'il était jusqu'ici difficile d'étudier clairement par les rayons X ou les électrons.

RADIOACTIVITÉ. — *Sur le parcours dans l'air des rayons α émis par l'actinium.* Note [1] de M. **Raymond Grégoire** et Mlle **Marguerite Perey**, transmise par M. Frédéric Joliot.

Après la découverte d'un élément alcalin (numéro atomique 87) dans l'actinium, l'un de nous a montré que ce corps provenait de l'actinium, par désintégration avec émission d'un rayonnement α [2]. Le parcours, dans l'air, de ces rayons, déterminé en première approximation par la méthode d'absorption, soit à l'aide d'une installation électrométrique, soit à l'aide d'un amplificateur proportionnel, était de 35 ± 2^{mm} T. P. N. [2]. Nous avons repris, au moyen d'un amplificateur proportionnel, la détermination précise de ce parcours. Les essais étaient faits avec un produit de lanthane actinifère exempt de tout dérivé, disposé en couche mince sur une feuille d'aluminium.

En prenant comme référence $38^{mm},4$ pour le parcours moyen des rayons α du polonium dans l'air T.P.N., nous avons trouvé pour l'actinium un parcours de $34,6 \pm 0^{mm},2$ dans les mêmes conditions. D'autre part, un autre groupe de rayons α de parcours $31 \pm 0^{mm},5$ représentant 15 % environ du groupe principal a pu être mis en évidence. Le rayonnement α émis par l'actinium présenterait donc une structure fine.

A l'aide des courbes permettant de passer des parcours moyens dans l'air aux énergies [3], nous trouvons que l'énergie des rayons α émis par l'actinium est de $4,95 \pm 0,02$ MeV pour le deuxième groupe.

On pourrait s'attendre à trouver dans l'actinium un rayonnement γ d'énergie $0,35 \pm 0,05$ MeV égale à la différence des énergies des rayons, à raison d'un quantum pour 500 désintégrations d'actinium. Ce rayonnement n'a pas été signalé [4].

---

(1) Séance du 13 octobre 1947.

(2) Mlle Marguerite Perey, *Comptes rendus*, **208** 1939, 97.

(3) M. G. Holloway et M. S. Livingston, *Phys. Rev.*, **54**, 1938, p. 18.

(4) Mlle Marguerite Perey et M. Marcel Lecoin, *Comptes rendus*, **212**, 1941, pp. 893-895.

Les valeurs des parcours et la proportion de la structure fine sont en parfait accord avec les résultats obtenus concurremment au moyen des trajectoires de ces rayons dans une plaque photographique (5).

CHIMIE PHYSIQUE. — *Sur les solutions aqueuses concentrées d'acide nitrique. Effet de l'addition de nitrates minéraux (tension de vapeur, calorimétrie).* Note (1) de MM. **Jean Chédin, René Leclerc** et **Robert Vandoni.**

I. *Acide nitrique à* 106 %. — NO_3Na ou NO_3K s'y dissolvent sous forme d'ions NO_3^- et Me^+ (spectre Raman : raie 1050 cm^{-1} caractéristique de l'ion NO_3^-) et la quantité de chaleur dégagée est importante (6000 calories pour 1 molécule NO_3K ou NO_3Na dissoute dans un grand excès de NO_3H pur). De plus quand on dissout des quantités croissantes de nitrates minéraux dans l'acide nitrique, la tension de vapeur de l'acide décroît rapidement (*fig.* 1). Ceci indique la formation d'un complexe entre le solvant $NO_2.OH$ et les ions NO_3^-. De tels sels ($NO_3H.NO_3K$) et ($2NO_3H.NO_3K$) avaient d'ailleurs été signalés (2).

II. *Acide nitrique hydraté* (mélange 80 NO_3H + 20 H_2O en poids). — Dans un tel acide la quantité d'ions est très faible : l'ionisation d'environ 2 % a été mesurée par divers auteurs (3), (4), (5) et les molécules nitriques sont en grande partie hydratées (6) (désignons-les par $N.H_2O$), outre les molécules non hydratées (responsables de la tension partielle de vapeur nitrique du mélange) il y a un un peu d'eau libre ($p_{H_2O} = 2^{mm}$ Hg à 30°). L'addition dans NO_3H à 80 % de quantités croissantes de NO_3Na ou NO_3K produit un abaissement sensible de p_{NO_3H} et une augmentation concomitante de p_{H_2O} (*fig.* 1). L'explication semble très simple NO_3^-, est une base plus forte que l'eau et l'addition de ces ions dans NO_3H à 80 % a pour effet :

1° De transformer en complexes une partie des molécules $NO_2.OH$ restées libres, formation de complexes

$$NO_2.OH \leftarrow :\bar{O}\diagdown\overset{+}{N}(=O)\diagup\bar{O}: \quad \text{ou} \quad NO_2OH \leftarrow :\bar{O}\diagdown\overset{+}{N}(=O)\diagup\bar{O}: \rightarrow HO.O_2N$$

que nous désignerons indifféremment par $(N.n)^-$.

---

(5) M. Marcel Guillot et Mlle Marguerite Perey, *Comptes rendus*, 225, 197, pp. 330-332.

(1) Séance du 6 octobre 1947.
(2) E. Groschuff, *Berichte, der chem. Ges.*, 37, II, 1904, p. 1486.
(3) J. Chedin, *Ann. de Chim.*, 11, 1937, p. 243.
(4) R. Dalmon, *Mémor. des Serv. Chim. de l'État*, 1943, p. 141.
(5) O. Redlich et Bigeleisen, *Journ. Chem. Soc.*, 65, 1943, p. 1883.
(6) J. Chedin et S. Feneant, *Comptes rendus*, 224, 1947, p. 930.

2° De déplacer la base faible H_2O de ses complexes avec NO_3H, libérant ainsi de l'eau et augmentant pH_2O.

3° De faire rétrograder l'ionisation de l'acide nitrique. Cet effet est négligeable dans le cas de l'acide à 80 % qui est lui-même fort peu ionisé.

Dans un mélange d'acide à 80 % et de NO_3Na, les équations d'équilibre

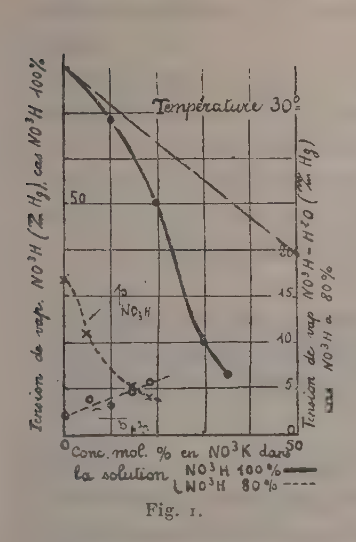


Fig. 1.

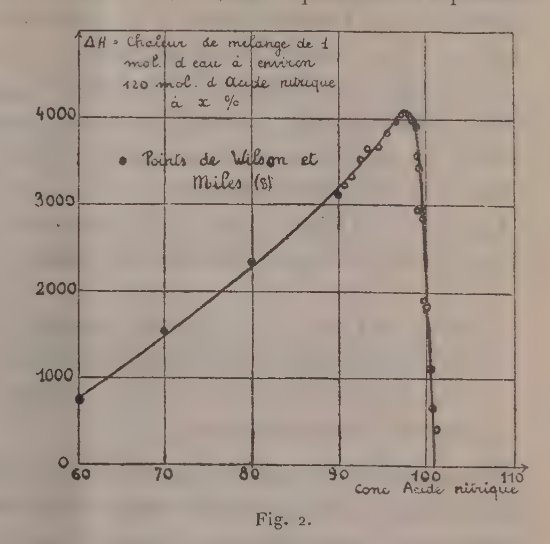


Fig. 2.

seraient les suivantes, en négligeant l'équilibre d'ionisation de NO_2OH en NO_3^- et H_3O^+.

(1) $$NO_2OH + H_2O \rightleftharpoons [N.H_2O] + Q_{1calc},$$

(2) $$NO_2OH + NO_3^- \rightleftharpoons [N.n]^- + Q_{2calc},$$

(3) $$[N.H_2O] + NO_3^- \rightleftharpoons [N.n]^- + H_2O + Q_{3calc}.$$

Ces conclusions sont en harmonie avec les résultats suivants obtenus par calorimétrie. On a mesuré la quantité de chaleur dégagée par addition d'une molécule H_2O dans un grand excès de NO_3H à concentration variable (*fig.* 2). La chaleur dégagée croît en fonction de la concentration de HNO_3 jusqu'à ce qu'on atteigne NO_3H à 97 % (maximum aigu). Selon nos hypothèses, l'interprétation est la suivante : l'acide nitrique concentré, de concentration inférieure à 93 %, contient des particules NO_2OH et $N.H_2O$ (en négligeant l'ionisation). Au delà de 93 % l'équilibre suivant d'auto-déshydratation commence à intervenir, et cela d'autant plus que l'on se rapproche de l'acide à 100 [7] [9]

(4) $$2HNO_3 \rightleftharpoons NO_3^- + NO_2^+ + H_2O.$$

---

(7) S. Feneant et J. Chedin, *Comptes rendus*, **224**, 1947, p. 1008.

(8) G. L. Wilson et F. D. Miles, *Trans. Far. Soc.*, **36**, 1940, p. 356.

(9) C. K. Ingold, D. J. Millen et H. G. Polle, *Nature*, **158**, 1946, p. 480.

favorisé vers la droite par la complexation des ions NO_3^- (et aussi des molécules H_2O) avec les molécules NO_2OH en grand excès [équations (1) et (2)]. Dans un acide très concentré, la réaction (4) détermine la présence d'ions NO_3^- en quantité non négligeable. L'addition d'un peu d'eau a un effet double : une partie déplace vers la droite l'équilibre (1) avec dégagement de chaleur $+q_1$, l'autre déplace ver la gauche l'équilibre (3) avec absorption de chaleur $-q_3$, car NO_3^- est une base plus forte que H_2O, et c'est la somme $q_1 - q_3$ que l'on mesure. Il est évident que q_3 sera d'autant plus grand en valeur absolue qu'il y aura plus d'ions complexes $(N.n)^-$, donc que l'on sera parti d'un acide nitrique plus concentré [dans lequel la réaction (4) productrice d'ions NO_3^- intervient davantage] ou d'un acide de concentration supérieure à 100 % (dans lequel N_2O_3 se dissout sous forme d'ions NO_3^- et NO_2^+). C'est ce qui explique la partie droite descendante de la courbe de la figure 2.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Sur la constante d'ionisation des monoesters de l'acide succinique dans le mélange eau-acétone et sur certaines particularités de la conductibilité du solvant.* Note de M. **Guy Bardinet**, présentée par M. Marcel Delépine.

Poursuivant une étude commencée avec M. P. Mastagli [1] sur la constante d'ionisation des monoesters, nous avons cherché à manifester l'influence du radical alcoyl estérifiant une des deux fonctions acides des diacides organiques.

Nous avons travaillé sur l'acide succinique et ses monoesters méthylique, éthylique, propylique, butylique et isoamylique. Les constantes d'ionisation ont été déterminées au conductimètre en solution acétonique à 10 % pour les raisons déjà indiquées [1]. Nous avons utilisé le même procédé d'extrapolation pour la détermination de la résistance des monoesters, variable par suite de l'hydrolyse [1]. Pour chaque corps, nous avons fait au moins trois mesures à 25°. La dilution se rapporte au nombre de litres pour une molécule dissoute.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant

Acide succinique	Dilution	300	400	500	600	700
	$k \times 10^5$	4,46	4,57	4,52	4,52	4,46
Monoester méthylique	Dilution	300	400	500	600	700
	$k \times 10^5$	2,14	2,14	2,14	2,12	2,16
Monoester éthylique	Dilution	316	390	500	596	721
	$k \times 10^5$	1,86	1,83	1,88	1,90	1,85
Monoester propylique	Dilution	252	401	533		
	$k \times 10^5$	1,78	1,70	1,72		
Monoester butylique	Dilution	297	395	458		
	$k \times 10^5$	1,69	1,69	1,70		
Monoester isoamylique	Dilution	296		492	655	
	$k \times 10^5$	1,69		1,69	1,68	

(1) P. Mastagli et Guy Bardinet, *Comptes rendus*, **223**, 1946, p. 667.

On voit que lorsque le radical estérifiant une des fonctions acides s'alourdit, la constante d'ionisation semble tendre vers une limite ($1,69-1,70.10^{-5}$).

La conductibilité du mélange eau-acétone utilisé était d'environ 3.10^{-6}. Elle s'est toujours montrée supérieure à celle de l'eau pure. Aussi nous a-t-il paru intéressant de faire une étude systématique en faisant varier les concentrations en acétone de 0 à 100 %. Les résultats en sont consignés dans le tableau suivant :

Eau (%).	Acétone (%).	Conductibilité du mélange $\times 10^6$.	Eau (%).	Acétone (%).	Conductibilité du mélange $\times 10^6$
100	0	2,7	94	6	2,95
99	1	3,5	90	10	3,02
98	2	4,2	60	40	1,95
97	3	3,6	20	80	0,88
96	4	3,2	0	100	0,35
95	5	2,96			

On voit que la conductibilité du solvant présente un minimum quand la proportion d'acétone est d'environ 2 %.

ADSORPTION. — *Influence de la température sur l'adsorption par une surface hétérogène*. Note [1] de MM. **Marcel Prettre** et **Olivier Gœpfert**, présentée par M. Paul Pascal.

Dans une précédente Note [2] nous avons montré qu'il était possible de décrire, par une somme d'isothermes unimoléculaires de Langmuir, l'isotherme d'adsorption d'un gaz par une surface dont les diverses plages actives possèdent une plus ou moins grande affinité pour l'adsorbat. Chaque plage est caractérisée par une valeur donnée de la constante b de l'équation de Langmuir, et cette constante est reliée à la chaleur d'adsorption Q par la relation habituelle

$$b = ke^{\frac{Q}{RT}}. \tag{1}$$

Nous avons ainsi exprimé correctement l'adsorption de l'hydrogène à 438° K. par un catalyseur au nickel et kieselguhr, en divisant la surface examinée en trois surfaces élémentaires qui, à cette température, sont caractérisées respectivement par les valeurs suivantes de b : 8, 0,2 et 0,01. Comme on ne peut envisager des variations considérables du facteur k, il faut nécessairement admettre qu'à des valeurs aussi différentes de b correspondent des chaleurs d'adsorption également très différentes. Il doit en résulter qu'une élévation de température diminue beaucoup plus le volume adsorbé aux faibles pressions

(1) Séance du 20 octobre 1947.
(2) *Comptes rendus*, 225, 1947, p. 681.

que celui adsorbé aux pressions plus élevées. C'est ce que confirment qualitativement les variations considérables au cours de l'adsorption, du rapport R des pressions isostériques nécessaires à la fixation d'un même volume v de gaz à 438 et 456° K. :

v.......	5	10	15	22 cm³
R.......	20	5	2	1,6

Pour obtenir une confirmation quantitative, il faut faire correspondre à chaque coefficient b de l'isotherme théorique calculée pour la température de 438° K. une chaleur d'adsorption plausible et, à l'aide de l'équation (1), calculer les nouvelles valeurs de b à 456° K., puis à partir de celles-ci les volumes adsorbés par chacun des trois types de plages envisagés. Les valeurs choisies pour les chaleurs d'adsorption sont données ci-dessous ainsi que les valeurs de b qui y correspondent aux deux températures considérées :

	Type I (cal/g).	Type II (cal/g).	Type III (cal/g).
Q.......	72 000	20 000	10 000
à 438° K., b.......	8	0,2	0,01
à 456° K., b.......	0,2	0,07	0,006

En conservant, comme il est de règle, les mêmes volumes limites partiels, ces nouvelles valeurs de b permettent d'obtenir à partir de l'isotherme théorique à 438° K., une nouvelle isotherme théorique valable à 456° K., dont les volumes calculés v_c peuvent être comparés aux volumes mesurés v dans le tableau suivant :

p......	4,3	32,4	71,5	126,0	271,2	441,8	555,0 mm/Hg
v......	5,71	15,01	17,11	18,54	20,43	21,88	22,30 cm³
v_c......	5,76	13,86	16,70	18,54	20,72	21,83	22,27 »

Il est clair que l'écart entre l'expérience et le calcul demeure très limité. Un tel accord apporte une confirmation importante de la validité de notre interprétation des isothermes d'adsorption unimoléculaire n'obéissant pas à l'équation de Langmuir. L'écart considérable entre les chaleurs d'adsorption qu'il est nécessaire d'adopter pour décrire à la fois l'influence de la pression et celle de la température sur le volume adsorbé, montre combien diffère l'aptitude des diverses plages d'un catalyseur à adsorber les réactifs et confirme la conception maintenant classique du petit nombre de plages actives capables de jouer un rôle important en catalyse de contact.

CHIMIE THÉORIQUE. — *Sur le caractère électronique de la cancérisation par les molécules organiques* [1]. Note [2] de Mme **Alberte Pullman**.

Dans le développement que nous avons donné [3] de la théorie électronique des hydrocarbures cancérigènes, la détermination de l'action des

---

(1) La nomenclature adoptée ici est celle de l'école anglaise. Voir réf. 3.

(2) Séance du 20 octobre 1947.

(3) *Annales de Chimie*, 2, 1947, p. 5.

substituants est basée sur la théorie de l'école anglaise [4] de la transmission intermoléculaire des charges électriques. Nous avons attribué l'effet du méthyle et de ses homologues supérieurs sur le pouvoir cancérigène des hydrocarbures à l'action répulsive de ces groupements vis-à-vis des électrons. Dans cette conception, nous avons négligé habituellement l'effet inductif des alcoyles et tenu compte essentiellement de leur effet mésomère (hyperconjugaison) dans le sens déterminé expérimentalement par Baker et Nathan [5] et développé du point de vue de la mécanique quantique par Mulliken, Rieke et Brown [6]. Bien que ce mode opératoire soit justifié, il y a néanmoins intérêt à examiner de près l'interaction de ces deux effets, car cette étude apporte une confirmation directe de l'importance du facteur électronique dans l'action des molécules cancérigènes, et des précisions sur la nature de l'état de transition qui caractérise l'interaction des hydrocarbures avec l'élément cellulaire dont l'intoxication provoque la maladie.

En effet, l'application de la théorie de l'hyperconjugaison n'est pas nécessaire pour comprendre, dans le cadre d'une théorie électronique du cancer, le rôle *global* des groupements alcoyles, car ces groupements sont tous caractérisés par un effet inductif répulsif vis-à-vis des électrons (+I) [2]. Seulement, l'ordre dans lequel se classent ces substituants au point de vue de la grandeur relative de cet effet est $\mathrm{Me} < \mathrm{Et} < \mathrm{Pr}^{\beta} < \mathrm{Bu}^{\gamma}$, ce qui constitue l'ordre inverse de celui dans lequel ces substituants sont capables d'exalter habituellement l'activité cancérigène des hydrocarbures. De nombreux travaux, inaugurés par ceux de Baker, ont eu pour résultat de démontrer que, à cet effet (+I) s'ajoutent, déjà dans l'état fondamental des molécules, un effet mésomère (+M) décroissant dans l'ordre $\mathrm{Me} > \mathrm{Et} > \mathrm{Pr}^{\beta} > \mathrm{Bu}^{\gamma}$, et surtout dans l'état de transition, *pour des réactions demandant un afflux d'électrons*, un effet électromère (+E), très puissant, capable de renverser l'ordre indiqué par l'effet (+I) et d'imposer celui suggéré par l'effet (+M). Il en résulte que la manifestation de l'effet d'hyperconjugaison peut être considérée comme caractérisant une réaction facilitée par un afflux d'électrons. *Le fait que l'ordre dans lequel se classent habituellement les alcoyles au point de vue de la production du cancer soit précisément celui qu'indiquerait la prédominance de l'effet de polarisabilité montre le rôle prépondérant de la concentration des charges dans l'état de transition caractérisant l'interaction de l'hydrocarbure avec la cellule, et la nature électrophile (avide d'électrons) de l'élément cellulaire siège de la cancérisation.* La capacité d'hyperconjugaison particulièrement élevée du méthyle explique alors son rôle spécial dans la production du cancer.

L'importance prédominante de l'effet tautomère des substituants, provoqué

---

(4) Voir surtout INGOLD, *Chem. Rev.*, 15, 1934, p. 225.

(5) *J. Chem. Soc.*, 1935, p. 1844; BAKER, *J. Chem. Soc.*, 1939, p. 1150.

(6) *J. Amer. Chem. Soc.*, 63, 1941, p. 41.

partiellement par l'avidité électronique de l'élément cellulaire, est également visible dans l'exaltation du pouvoir cancérigène des hydrocarbures par la fixation d'halogènes sur leur périphérie. En se basant sur la forte électronégativité du chlore, Schmidt a prédit ([7]) que cet élément aurait, au point de vue de la cancérisation, une action analogue à celle de l'azote, c'est-à-dire qu'il diminuerait le pouvoir cancérigène des hydrocarbures. L'existence de composés possédant des atomes d'halogènes en même temps que des groupements alcoyles, et néanmoins cancérigènes, n'était pas en contradiction avec ce point de vue, mais dernièrement des dérivés du 1.2-benzanthracène ne contenant que des halogènes, ont été essayés à l'Institut du Radium pour leur activité physiopathologique, et l'on a constaté que, par exemple, le 10-chloro-1.2-benzanthracène était cancérigène, ce qui infirme la prédiction de Schmidt. Le chlore exhibant un effet (—I), il est évident que l'activité physiopathologique de ce dérivé doit être attribuée à l'effet tautomère (+T) des halogènes, effet qui doit être exalté dans les grandes molécules ([8]). La croissance de l'effet mésomère des halogènes en fonction du nombre des noyaux accolés et de la valence libre du sommet substitué, conforme aux règles de B. Pullman ([9]), est confirmée par exemple par les mesures des moments dipolaires des chloronaphtalènes ([10]). D'autre part l'effet généralement plus fort du chlore, par rapport au brome sur l'exaltation de l'activité cancérigène des hydrocarbures, est en accord avec l'ordre des grandeurs relatives de leur effet tautomère indiqué par l'école anglaise.

L'activité cancérigène des hydrocarbures apparaît ainsi comme étant fonction, non seulement de leur structure électronique statique, mais également de déformations dynamiques que celle-ci subit essentiellement sous l'effet de la polarisabilité. A ce propos, il faut remarquer que l'existence de l'effet électromère ne change pas l'ordre, établi sur la base de l'effet mésomère, dans lequel se classent les hydrocarbures cancérigènes, substitués en différentes positions, car dans le type de réactions examiné ici, ces deux effets évoluent parallèlement ([8]).

CHIMIE GÉNÉRALE. — *Interprétation de quelques particularités de la liaison hydrogène entre molécules hydroxylées*. Note ([1]) de M. **Paul Rumpf**, présentée par M. Louis Hackspill.

Dans l'ion ammonium qui présente une symétrie tétraédrique, les quatre liaisons NH sont équivalentes et la grande acidité de cet ion, par rapport à

([7]) *Zeits f. Phys. Chem.*, 42, 1939, p. 83.

([8]) Wheland, *The theory of resonance*, New-York, 1944; Mme A. Pullman, *Bull. Soc. Chim.*, 7-8, 1947, p. 652.

([9]) *Comptes rendus*, 222, 1946, p. 1396.

([10]) Voir par exemple Hampson et Weissberger, *J. Chem. Soc.*, 1936, p. 393.

([1]) Séance du 13 octobre 1947.

celle de l'ammoniac, constitue une manifestation mesurable de l'effet inductif direct exercé par le proton dont la fixation affaiblit les liaisons NH voisines, en accentuant leur caractère ionique par une polarisation dans le sens $N^{-}H^{+}$. Il y a tout lieu de penser que, par un processus électrostatique tout à fait comparable, la formation d'une liaison hydrogène A H. . . B agit de même sur les liaisons OH ou NH de B.

Les résultats obtenus par divers expérimentateurs ([2]) prouvent, en effet, que la liaison hydrogène est essentiellement un phénomène d'attraction électrostatique, conformément au point de vue adopté par Pauling et, dès 1938, par E. Bauer et M. Magat ([3]). Dans les cas typiques d'association par l'hydrogène, des recherches de plus en plus précises ([4]) ont montré que la combinaison moléculaire est stabilisée par l'acidité de AH et par la basicité de B, c'est-à-dire précisément par les facteurs qui augmentent la faible probabilité d'une salification, d'un transfert complet du proton de A vers B.

L'étude des bandes infrarouges C = O et C — O de diverses molécules B (acétone, éther éthylique) a permis de mettre directement en évidence ([5]) un affaiblissement des liaisons correspondantes, lors de l'association avec le proton lié de AH.

Si la formation d'une liaison hydrogène entre une première molécule faiblement acide, comme celle d'un alcool par exemple, et l'oxygène d'une seconde molécule identique augmente l'acidité de cette dernière, les faits qui viennent d'être rappelés (*4c*) impliquent que cette polarisation, d'autant plus accentuée que la liaison hydrogène est plus forte, détermine un accroissement de stabilité lorsque la seconde molécule hydroxylée s'associe à son tour avec une troisième, et ainsi de suite. Il en résulte donc une polarisation relayée, renforcée, qui explique l'existence de chaînes dans lesquelles une même molécule intercalaire joue en même temps les rôles de AH et de B. La longueur de ces chaînes est limitée, selon les cas, soit par l'encombrement stérique, soit par l'agitation thermique dont l'influence destructrice a d'autant plus de chances d'agir que le nombre de points de rupture possible est plus élevé, finissant ainsi par l'emporter sur l'effet stabilisateur d'un nombre croissant de polarisations. Puisque la force des liaisons hydrogène augmente avec la longueur des enchaînements de molécules hydroxylées, les variations simultanées de ces deux grandeurs peuvent être une des causes de la structure complexe de certaines bandes d'association, étalées dans l'infrarouge vers les grandes longueurs d'onde.

([2]) Voir notamment : J. Karle et L. O. Brockway, *J. Amer. Chem. Soc.*, **66**, 1944, p. 574; J. A. A. Ketelaar, *J. Chem. Phys.*, **9**, 1941, p. 775.

([3]) *Journ. de Phys.*, **9**, 1938, p. 319.

([4]) Voir, par exemple : *a*. J. Kendall, J. E. Booge et J. C. Andrews, *J. Amer. Chem. Soc.*, **39**, 1917, p. 2303; *b*. W. H. Rodebush et A. M. Buswell, *J. Phys. Chem.*, **43**, 1939, p. 219; *c*. C. S. Venkateswaran, *Proc. indian Acad. Sci.*, 7, A, 1938, p. 13; *d*. W. Gordy, *J. Chem. Phys.*, **9**, 1941, p. 215.

([5]) J. Lecomte, G. Champetier et P. Clément, *Comptes rendus*, **224**, 1947, p. 553; W. Gordy, *J. amer. chem. Soc.*, **60**, 1938, p. 605.

En étudiant l'absorption infrarouge des solutions de méthanedeutérol CH_3OD, Gordy (4*d*) a constaté que les composés hydroxylés paraissent exercer sur le pôle D^+ une attraction d'une intensité nettement supérieure à celle que permettait de prévoir la faible basicité de l'hydroxyle. Nous comprenons immédiatement que, dans ce cas, la force exceptionnelle des *liaisons deutérium* est due en réalité à une accentuation du caractère ionique de la liaison OD, par suite de la fixation d'une chaîne de molécules hydroxylées sur l'oxygène de l'alcool lourd.

Dans les solutions acides, l'hydrogène du pont initial de certaines chaînes d'association est fourni par un oxonium dont la grande acidité se transmet de même à tous les oxhydriles associés, augmente leur probabilité de rupture par ionisation et limite donc la longueur ainsi que la durée de vie moyennes des chaînes chargées. On a, par exemple, le processus schématique suivant :

— (H⁺, *n*ROH) (immédiatement capté par une autre chaîne)

(instable)

Si l'on parvient à prouver directement que les effets inductifs additionnels, constitués par ces polarisations successives, ne s'amortissent pas trop vite, de tels mécanismes seront susceptibles d'expliquer certaines propriétés électrochimiques des solutions aqueuses, d'une manière plus précise que ne l'ont fait W. M. Latimer et W. H. Rodebush (6) (grande mobilité apparente des ions H^+ et HO^-; non-existence d'ions H_3O^+ nettement individualisés). Ils permettent aussi d'envisager un nouveau mode d'action électronique à distance, dans les *milieux biologiques* où abondent les associations intermoléculaires complexes par liaisons hydrogène.

CHIMIE ANALYTIQUE. — *Étude des sels basiques insolubles et calcul des produits de solubilité*. Note (1) de MM. **Max Geloso** et **Pierre Deschamps**, présentée par M. Paul Pascal.

Dans une précédente Communication (2), nous avons montré que, théoriquement du moins, il suffit de deux mesures de pH pour établir la constitution d'un sel basique insoluble, à condition bien entendu qu'il n'existe en solution que des ions simples, non condensés.

(6) *Journ. Amer. Chem. Soc.*, **42**, 1920, p. 1419.

(1) Séance du 20 octobre 1947.

(2) *Comptes rendus*, **224**, 1947, p. 1163.

Construite par points, la courbe $pH = f(a)$ [3] est ascendante et tend vers une asymptote verticale d'abscisse $x/(x+1)$, où x est l'indice du sel basique insoluble.

En fait on observe souvent la présence d'un ou plusieurs points singuliers T, suivis d'un pseudo-palier à pH légèrement croissant, puis la courbe reprend son allure ascendante.

Comme le remarque Feitknecht [4], ces points indiquent l'apparition d'un nouveau sel insoluble. L'application de la règle de Gibbs montre qu'au cours du titrage, deux phases solides doivent se trouver en équilibre avec la solution, en chaque point du palier.

Soit, pour simplifier, un sel de cation bivalent A_nB ($n = 1$ ou 2 suivant la valence de l'anion A), susceptible de donner naissance à un sel basique A_nB, $xB(OH)_2$, ainsi qu'à l'hydroxyde [5].

Les produits de solubilité du sel basique et de l'hydroxyde s'expriment respectivement par les relations

$$(1) \qquad [B]^{x+1}[A]^n[OH]^{2x} = S_b,$$

$$(2) \qquad [B][OH]^2 = S_h.$$

Au début de la précipitation $1/n[A] = [B] = \theta$, θ étant la concentration moléculaire initiale du sel.

La phase solide qui apparaît en premier lieu est constituée soit par le sel basique, soit par l'hydroxyde, selon que la concentration en ions OH, qui augmente peu à peu par addition de base, satisfait d'abord l'une ou l'autre des équations (1) ou (2). Ceci dépend du rapport des produits de solubilité et se trouve déterminé par les inégalités $S_b/S_h^x \lesseqgtr n^n \theta^{n+1}$.

Par ailleurs, l'abscisse du point T ne se confond pas nécessairement avec celle de l'asymptote et la position du point singulier ne permet pas, dans tous les cas, de déterminer la constitution de la phase solide.

On peut poser, en effet,

$$[B] = \theta f_B\left(1 - a\frac{x+1}{x}\right), \qquad [A] = n\theta f_A\left(1 - \frac{a}{x}\right) \quad [6].$$

Au point T les équations (1) et (2) doivent être satisfaites, d'où

$$f_B f_A^n\left(1 - a_T\frac{x+1}{x}\right)\left(1 - \frac{a_T}{x}\right)^n = \frac{1}{n^n\theta^{n+1}}\,\frac{S_b}{S_h^x}.$$

---

(3) Nous posons

$$a = \frac{\text{base versée}}{\text{base exigée pour l'hydroxyde}}.$$

(4) *Helvetia Chim. Acta*, **16**, 1933, p. 1302.

(5) Le raisonnement serait le même s'il se formait consécutivement deux sels basiques.

(6) On désigne par f le coefficient d'activité d'un ion.

Soit, alors $\varepsilon = 1 - a_T(x + 1/x)$, il vient approximativement

$$(3) \qquad \varepsilon = \frac{1}{f_B f_A^n n^n \theta^{n+1}} \frac{S_b}{S_h^x} \left(\frac{x+1}{x}\right)^n.$$

ε mesure [au coefficient $(x + 1/x)$ près] la distance entre l'abscisse $x/(x+1)$ de l'asymptote verticale et l'abscisse a_T du point singulier. Cette distance varie avec la dilution et le rapport des produits de solubilité. Dans le seul cas où elle est négligeable, le point T se trouvant sur l'asymptote, on peut déduire de sa position la valeur de x indice du sel basique.

Dans le cas des sels cuivriques, le sel basique d'indice 3 se forme en premier lieu (²); apparaît ensuite l'hydroxyde. Le point singulier T se trouve sur l'asymptote d'équation $x/(x+1)$, comme on peut le déduire de la connaissance des produits de solubilité qui vont être calculés [équation (3)].

L'équation (1) permet en effet le calcul de S_b le long d'une courbe de précipitation. Nous ne citerons qu'un exemple

SO_4Cu conc. initiale moléc. : 0,00342; neutralisation par HONa; température 34° :

a................	0,103	0,207	0,314	0,418	0,521
$\sqrt[4]{S_b}.10^{16}$.........	0,9	0,85	0,7	0,8	1,1

On obtient des résultats analogues en opérant à différentes concentrations variant entre 0,00171 et 0,0171, en neutralisant par une base faible ($HONH_4$) ou forte [HONa; $(HO)_2Ba$]

Enfin la nature de l'anion : chlorure, nitrate ou sulfate, change peu la valeur de S_b. Nous adopterons comme moyenne $S_b = 10^{-64}$ (⁴). Connaissant S_b et le pH du point T, il devient facile de calculer S_h, produit de solubilité de l'hydroxyde, dont la mesure expérimentale est en général si délicate. Du système d'équation (1) et (2) on tire

$$\frac{x+1}{2} \log S_h = \log K_e + \frac{1}{2} \log S_b + p_H - \frac{n}{2} \log[A],$$

où K_e est la constante d'ionisation de l'eau.

Nous extrayons de nos résultats quelques valeurs obtenues à partir du sulfate, du nitrate ou du chlorure, neutralisés par la soude ou l'ammoniaque à des températures variant entre 20° et 34°

Produits initiaux.	Nitrate.	Chlorure.	Sulfate.	Chlorure.	Sulfate.
θ..........	0,0045	0,0053	0,0064	0,0128	0,0318
$(pH)_T$.......	6,74	7,86	7,90	6,60	7,66
S_h(⁷).......	$5,0.10^{-19}$	$8,4.10^{-19}$	$3,2.10^{-19}$	$4,0.10^{-19}$	$3,2.10^{-19}$

On adoptera pour S_h la valeur 5.10^{-19}.

(⁷) Compte tenu de la correction d'activité.

MINÉRALOGIE. — *Au sujet des vatérites et des autres variétés de carbonate de calcium.* Note de M. **Gabriel Lucas**, présentée par M. Charles Jacob.

Dans une Note récente, parue ici même, M. J. Stolkowski [1] apporte certains renseignements sur la vatérite et ses rapports avec les autres carbonates de calcium. L'étude des colorations que ces produits sont susceptibles de prendre et la possibilité de leur utilisation en chromatographie présentent un intérêt certain. Il est cependant regrettable que l'auteur ne se soit pas reporté aux communications faites le 11 avril 1946 à la Société française de Minéralogie, par R. Faivre et par moi-même [2].

En effet, tandis que R. Faivre y étudiait de très près les équilibres chimiques entre calcite, aragonite et vatérite, il m'a été possible de donner sur la vatérite un certain nombre de précisions. J'ai obtenu le μ-CO_3Ca, dont l'identité semble douteuse à M. Stolkowski, en monocristaux de grande dimension (150^{μ} environ), par double décomposition au cours de diffusions lentes, et par d'autres procédés. Son identité avec une des vatérites a été démontrée par l'étude de son spectre de Debye-Scherrer faite par R. Faivre. Ses caractères optiques (signe optique positif, uniaxie, biréfringence forte des paillettes vues par la tranche) ont pu être parfaitement observés. Enfin, certains groupements de cristaux m'ont permis de donner une interprétation du fait déjà décrit, signalé à nouveau par M. Stolkowski, que les fibres des sphérolites de vatérite présentent un signe d'allongement tantôt négatif, tantôt positif. Certains de ces faits, du reste, étaient connus, comme en témoigne l'abondante bibliographie réunie par R. Faivre et par moi-même.

GÉOGRAPHIE PHYSIQUE. — *Résultats de quelques expériences sur la désagrégation des roches cristallines.* Note [1] de M. **P. Birot**, présentée par M. Emmanuel de Martonne.

Dans le but d'élucider les conditions climatiques de la décomposition des roches cristallines et le mécanisme de l'érosion différentielle dans les socles anciens, nous avons soumis à cinq traitements différents des échantillons frais de roches cristallines (diorites, granites et syénites), ainsi que des cristaux de grande taille de biotite, de muscovite et d'orthose.

---

(1) *La vatérite et les formes minéralogiques du calcaire* (*Comptes rendus*, 225, 1947, p. 312).

(2) Gabriel Lucas, Communications faites à la Société française de Minéralogie à la Séance du 11 avril 1946 (*Bull. Soc. Fr. Min.*, 69, p. 9); Gabriel Lucas, *Quelques observations sur la vatérite cristallisée, sa préparation et sa transformation en calcite* [*Bull. Soc. Fr. Min.*, 70 (sous presse)].

(1) Séance du 20 octobre 1947.

Série I, en permanence dans l'eau à la température ordinaire (celle d'une pièce non chauffée).

Série II, pendant 12 heures dans l'eau à la température ordinaire et pendant 12 heures au sec à la température ordinaire.

Série III, pendant 12 heures dans l'eau à la température ordinaire, et pendant 12 heures en étuve sèche à 70°.

Série IV, dans l'eau à 70° et, quand cette eau s'est évaporée sur place, au sec, à la même température.

Série V, dans l'eau à 50° en permanence.

Le traitement a été poursuivi pendant une durée de 5 à 7 mois suivant les cas. Les hautes températures appliquées correspondent aux maxima observés dans la réalité, sous des climats chauds et secs ou chauds et humides. L'eau employée était de l'eau de pluie.

La roche a réagi de façon systématique aux cinq traitements. Les séries I et II ont donné quelques débris en quantité insignifiante. La série III a donné un dépôt de sable fin, avec nombreux débris de 1 à 2^{mm} de diamètre, les premiers à se détacher étant toujours des lamelles de biotite. Ces cailloux ont accusé une forte diminution de poids : 150^{mg}, en moyenne, pour des échantillons de 20^{g} environ. Un gros cristal de biotite de 3^{g} a perdu 6 % de son poids, et un cristal analogue de muscovite 30 fois moins, ceci en deux étapes : l'une au début des expériences, ce qu'on peut attribuer à la réalisation d'une désagrégation virtuelle antérieure, l'une à la fin, ce qui ne peut s'expliquer que par le traitement subi.

La série IV a vu apparaître au bout de deux mois, une croûte de carbonate de fer, et au bout de cinq mois, des efflorescences salines blanchâtres qui recouvraient d'une patine uniforme tous les échantillons, en les rendant méconnaissables. Il s'agit évidemment d'éléments empruntés aux roches et déposés quand l'eau s'évaporait. Ces cailloux ont augmenté de poids ($+ 100^{mg}$ en moyenne pour un poids initial de 20^{g}). On est donc en présence d'un phénomène d'hydratation.

Quant à la série V, elle a donné un précipité argileux au fond des éprouvettes. Le poids final diffère peu du poids initial, tantôt en plus, tantôt en moins. Ceci signifie que la perte de substance sous la forme colloïdale ou en solution ordinaire est compensée par l'hydratation. Comme dans la série III, la roche conserve un aspect sain.

Quelles interprétations peut-on donner de ces résultats touchant les phénomènes naturels?

L'exemple de la série IV montre comment peut se former une croûte sous un climat chaud alternativement sec et humide, quand l'eau imbibant la roche nue s'évapore sur place (patine désertique).

La perte de substance la plus importante est réalisée dans la série III par désintégration granulaire de la roche avec des variations importantes de

température et d'humidité : ces conditions sont réalisées dans les zones subarides où une pluie froide s'abat brusquement sur la roche surchauffée, et où l'on sait que les batholites granitiques sont excavés rapidement. Le mécanisme de cette désintégration est encore obscur. Les expériences pratiquées en Amérique, en baignant les cailloux dans l'huile, ont montré que ce ne sont pas les variations de volume des cristaux consécutives aux variations de température qui provoquent la dissociation des grains (*Journal of Geology*, 1916-1937). Les résultats des séries II et III montrent que les variations d'humidité ne suffisent pas non plus à provoquer le phénomène. Une combinaison des variations brusques de température et d'humidité est nécessaire. La biotite se montre le minéral le plus sensible. Il faut noter qu'une série subsidiaire soumise au même traitement pendant deux mois, en réduisant à quelques minutes la période d'immersion dans l'eau froide a donné également une forte désintégration granulaire. De nouvelles expériences sont nécessaires pour démontrer le processus.

La série V a été placée dans des conditions de chaleur et d'humidité constante de type équatorial (cas extrême) et a donné une décomposition argileuse qui doit faire l'objet d'une étude particulière. Il faut observer qu'une différence essentielle subsiste avec les conditions réelles des climats équatoriaux : l'absence d'acides organiques dans l'eau chaude. Enfin, toutes les fois que les cailloux ont baigné dans l'eau chaude, la grande importance du phénomène d'hydratation est apparue.

Par contre, l'un de nos objectifs n'a pas été atteint, à savoir l'origine des contrastes de dureté entre les divers types de roches cristallines telles qu'elles se manifestent dans les régions subarides. La mesure des pertes de substance dans la série III, en particulier, a révélé des inégalités du même ordre de grandeur que celles qui ont été données par des roches de nature différente. Pour éliminer ces variations accidentelles, il faudrait sans doute soumettre au traitement une surface rocheuse supérieure à celle que nous pouvions engager dans notre étuve.

GÉOGRAPHIE PHYSIQUE. — *Sur quelques indices géomorphométriques.*

Note [1] de M. **Jean Tricart**, présentée par M. Emmanuel de Martonne.

Il serait utile que l'étude de plus en plus poussée du relief du sol puisse accroître encore sa précision par l'emploi de méthodes quantitatives. Or, les essais pour définir des méthodes de mesure propres à l'analyse des formes du relief en vue d'en définir la genèse, sont restées jusqu'ici trop rares en France, et l'application n'en a guère été envisagée que pour des régions de mon-

(1) Séance du 4 août 1947.

tagne ([2]). Nous voudrions essayer de le faire pour les bassins sédimentaires, et, en particulier, pour les versants de vallées, fronts de côte, escarpements de failles qui en sont les éléments de relief caractéristiques. Pour cela, nous avons défini trois indices aisément chiffrables :

L'indice de dissymétrie d'une vallée est le rapport de la médiane d'une série de mesures de pentes du versant le plus incliné à la médiane des pentes du versant le moins incliné :

$$I_d = \frac{P_a}{P_b}.$$

La sensibilité de cet indice est augmentée en exprimant les pentes en %.

Pour une vallée symétrique, l'indice serait égal à 1; il augmente ensuite vers l'infini avec la dissymétrie.

L'indice de courbure d'un versant de vallée, d'un talus de côte ou d'un escarpement de faille

$$I_c = \frac{2f}{L},$$

f étant la plus grande distance du profil courbe du versant à la droite L qui joint le sommet à la base de ce versant ou talus.

On peut effectuer, par convention, cet indice du signe + dans le cas d'une pente convexe, et du signe — dans celui d'une pente concave. Il varie de 0 pour une pente rectiligne à 1, valeur asymptotique irréalisable.

L'indice de symétrie de courbure I_s permet de fixer l'endroit du versant où la courbure change de rayon. Soit l la distance entre le sommet de la pente et le point où f rencontre L

$$I_s = \frac{l}{L}.$$

Il varie lui aussi de 0 à 1. Pour une courbure symétrique, en arc de cercle, il est égal à 0,5. Si la courbure est plus accentuée à la partie supérieure du versant, on a : $0 < I_s < 0{,}5$. Dans le cas d'une pente plus raide à la partie inférieure, on a $0{,}5 < I_s < 1$.

Le calcul de ces indices est simple et rapide. Avec une habitude très vite acquise, leur examen permet de se faire une image concrète de la pente. Par ailleurs nous travaillons à établir des tableaux où nous confrontons, pour les côtes de l'Est du Bassin de Paris, ces indices avec le pendage des couches, et le rapport de l'épaisseur de la couche dure à l'épaisseur totale des couches formant le front de côte. Nous avons constaté que, pour un même ensemble de

---

([2]) EMMANUEL DE MARTONNE, *Détermination et interprétation des altitudes moyennes de la France et de ses grandes régions* (*Ann. de Géogr.*, 1941); PÉGUY, *Haute Maurienne et Ubaye*, esquisse physique (*Thèse de doctorat*, Grenoble, 1947); ONDE, *Maurienne et Tarentaise, Étude de Géographie physique*, 1938.

couches, I_c croît avec le pendage d'une part, avec l'épaisseur de la couche dure d'autre part. Cette loi se vérifie en particulier pour la côte de Champagne, dont le front convexe est plus bombé là où le pendage s'accentue. Ainsi, pour un affleurement de couche dure formant 40 % du total,

I_c est égal	à + 0,032	pour un pendage nul	
»	à + 0,043	pour un pendage de	0,5 %
»	à + 0,052	»	0,6 %
»	à + 0,072	»	1 %
»	à + 0,092	»	1,5 %

Quand le rapport des épaisseurs descend ici au-dessous de 20 %, le pendage étant voisin de O, la pente devient concave. La convexité s'accroît avec le rapport des épaisseurs (R_e), pour un pendage à peu près nul :

I_c est égal	à − 0,004	pour R_e égal à	18 %
»	à + 0,022	»	36 %
»	à + 0,038	»	50 %
»	à + 0,052	»	70 %.

Par ailleurs, ces valeurs varient avec la nature des couches superposées : un tableau comparatif de nos indices, pour des ensembles de couches différentes placés dans les mêmes conditions de pendage et ayant les mêmes rapports d'épaisseurs, peut donner une échelle de résistance chiffrée de ces couches. Une fois ces chiffres de dureté établis, il est possible de comparer, toujours par la même méthode, la résistance d'une même roche sous des climats différents, et, ainsi, de mesurer l'action érosive dans les divers milieux du globe.

L'indice de dissymétrie, étudié en fonction de l'orientation des vallées, peut déceler des influences climatiques actuelles ou fossiles. Ainsi, les vallées de la Craie Champenoise orientées NO-SE ont des dissymétries de l'ordre de 4 alors que celles qui sont dirigées NE-SO sont symétriques, ce qui semble dû à une intensité plus grande des phénomènes de nivation périglaciaires au quaternaire.

GÉOLOGIE. — *Sur le soulèvement principal de la Cordillère orientale des Andes de l'Équateur et la création du réseau du Haut-Amazone.* Note de M. **Edmond Bruet**, présentée par M. Charles Jacob.

En bordure de la plus importante coupure fluviatile pratiquée dans la Cordillère orientale des Andes de l'Équateur, celle du Pastaza, affluent de l'Amazone, j'ai décrit précédemment des vestiges impressionnants laissés par deux glaciations de types et d'âges différents ([1]).

([1]) *Glaciations pléistocènes sous l'Équateur* (*C. R. S. Soc. Géol. Fr.*, séance du 21 avril 1947, pp. 131-132).

Dès que la Cordillère orientale eut atteint son point culminant, ses hauteurs connurent de grands glaciers qui remplirent des dépressions structurales dont le modèle est offert par la dépression pré-Pastaza, débutant à plusieurs kilomètres à l'ouest de Baños. Il y demeure des vestiges importants de produits de nivation situés à la base, reposant sur des schistes fortement plissés, produits surmontés par des vestiges grandioses de la moraine I. Comme il n'y a pas trace d'alluvions et que la rivière, qui coule maintenant à 30^{m} plus bas, a découpé la partie non protégée de la moraine, la Pastaza n'existait pas au moment où s'installait la première glaciation, pas plus que le Chambo, le Patate ou le Cutuchi. Mais à l'extrémité est du grand glacier de piedmont représenté aujourd'hui par la moraine I et bien à l'est de Baños, il y avait sans doute un torrent qui s'échappait du glacier; ainsi on peut expliquer l'entaille plus profonde dans la Cordillère à l'est du Puente Rio Ulva, sans pour cela négliger les perturbations importantes et répétées causées au Pastaza par les éruptions successives du volcan Tungurahua dont la dernière date de 1916. Le Pastaza est même né, comme nous le verrons, postérieurement à la deuxième glaciation (glaciation de plateaux).

Au moment de la deuxième glaciation, tous les volcans et les hauteurs de la Chaîne orientale épanchaient leurs glaciers dans toutes les directions. On voit par exemple que la vallée glacière du Salado possédait un glacier capable d'excaver non seulement la moraine I, qu'il prenait juste par le travers, mais aussi le substratum schisteux, et descendait au-dessous du niveau actuel du Pastaza, donc au-dessous du substratum de la moraine I. Il y a une confirmation nette du principe des observations de MM. C. Jacob et J. Jung [1] faites sur les formations glaciaires de Bort-les-Orgues (Massif Central de la France). Dans la région de l'Équateur que nous décrivons, les glaciers de plateaux sont plus récents que les glaciers de piedmont, puisqu'à la fois ils ont laissé leurs vallées en U sur des coulées qui recouvrent les moraines des glaciers de piedmont, et que lesdites vallées en U de la deuxième glaciation recoupent les moraines de la première glaciation.

Regardons maintenant ce que nous pouvons tirer de nos observations concernant la 2e glaciation. A ce moment-là, les glaciers de Tungurahua, du Cerro Altar, du Carihuairazo, du Chimborazo, etc., envoyaient leurs glaciers radialement, mais beaucoup convergeaient sur Riobamba et ses environs, rendant intenable, pour des Herbivores, la région de Punin où l'on a trouvé des restes d'une importante faune fossile avec un crâne humain, celui-ci d'âge douteux. Entre les deux glaciations, dans l'interglaciaire, cette faune avait pu prospérer dans une région renfermant des lacs. On trouve en effet les dépôts de ces lacs recoupés par le Patate et le Chambo, dont la rencontre

---

(1) Note sur les formations glaciaires et fluvio-glaciaires de la région de Bort-les-Orgues. *Rev. Sc. Nat. Auvergne*, Vol. **11**, fasc. I-II, p. 27, Clermont-Ferrand, 1945.

forme le Pastaza. Tous renferment des Pulmonés d'eau douce et ce que l'on peut penser être des vestiges de plantes aquatiques minéralisés par le fer. Ainsi s'explique l'extermination de la faune, sans avoir besoin de recourir à un cataclysme volcanique comme le fait Anthony du Muséum de New-York (²).

Pour en revenir au Pastaza, ce n'est qu'après la 2ᵉ glaciation qu'il pût s'établir, après érosion régressive du pré-Pastaza, dans sa position actuelle et que naquirent le Patate et le Chambo qui recoupent, on l'a vu, les dépôts des lacs interglaciaires recouverts aujourd'hui par des matériaux volcaniques ou par du lœss.

Mes observations ne révèlent l'existence que de deux glaciations ; elles portent aussi bien sur la Cordillère orientale que sur la forêt vierge du Haut-Amazone. J'ai relevé notamment dans le bassin du Napo, près des campements du Rio Arajuno, deux terrasses climatiques emboîtées, édifiées par un ancien réseau hydrographique aujourd'hui abandonné par les eaux, et le survol en avion du Haut-Amazone permet de relever des traces nombreuses d'anciens cours d'eau actuellement périmés.

Les faits exposés ci-dessus me conduisent à situer le soulèvement principal de la Cordillère orientale à l'époque qui a immédiatement précédé la première glaciation, l'existence de la faune de Punin dans l'interglaciaire et la naissance du réseau hydrographique actuel à la fin de la deuxième glaciation. En ce qui concerne les glaciations, on pourrait paralléliser la première avec la glaciation Illinoian de l'Amérique du Nord (que les auteurs parallélisent avec la Riss européenne) et la seconde avec celle de Wisconsin (Würm). Mais y a-t-il eu réellement simultanéité dans les deux hémisphères ? Dans tous les cas, les vallées en U radiales de la seconde glaciation, comme leurs moraines, me paraissent singulièrement fraîches dans une zone de l'Ecuador où les chutes pluviales annuelles atteignent et dépassent même actuellement 1700 millimètres.

GÉOLOGIE. — *La tectonique pyrénéenne dans le granite du Néouvielle (Hautes-Pyrénées)*. Note de M. **Pierre Hupé**, présentée par M. Charles Jacob.

Le batholite granitique du Néouvielle, mis en place à la fin de l'orogénèse hercynienne, est traversé par toute une série de zones de laminage, orientées dans l'ensemble à peu près E-O et relevant d'orogénèses postérieures au plissement hercynien, car les filons lamprophyriques qui, d'aventure, se trouvent pris dans ces zones, sont eux-mêmes laminés.

Sur une coupe nord-sud de 10ᵏᵐ, allant du pont de la Gaubie (à l'est de Barèges) jusqu'au Pic Long (3191ᵐ), c'est-à-dire du bord nord au bord sud du batholite, on ne rencontre pas moins de sept ou huit de ces zones mylonitiques,

---

(²) L. R. Sullivan and M. Hellman, *The Punin calvarium* [*Anthrop. papers of the Amer. Mus. of Nat. Hist.*, vol. XXIII, part. VII, New-York, 1925 (avec une introduction de H. E. Anthony)].

larges de plusieurs décamètres, où le granite, fortement écrasé, prend un aspect de gneiss à grain fin, chloritisé, ou de chloritoschiste, avec imprégnation de quartz de métasomatose. Les plans de laminage pendent tous au Nord, mais suivant un angle qui diminue à peu près régulièrement quand on va du Nord au Sud. C'est ainsi que, le long du torrent d'Aygue-Cluse, dans la zone la plus septentrionale, le pendage oscille entre 90° et 70° S, tandis qu'il atteint 65° N à la brèche Chaussenque au Nord-Ouest du Néouvielle et 40-45° N à la Hourquette de Bugarret au Sud-Ouest du même pic.

L'absence, suivant cette coupe, du revêtement sédimentaire du batholite empêche toute évaluation exacte de l'importance des glissements différentiels inscrits dans les laminages comme toute compréhension précise de leur rôle dans la tectonique régionale.

Il n'en est plus de même à la limite méridionale du massif où se manifeste un magnifique déversement du granite sur sa bordure, déversement que ne laissaient pas supposer les levés de G. Bresson, si précis par ailleurs, sur la feuille de Luz. Aux abords septentrionaux du Pic Long, le granite laminé se couche suivant un angle de 20 à 40° sur son auréole (calcaires carbonifères et cornéennes) et se débite même en plusieurs écailles à l'Ouest du lac Tourrat. L'ampleur du phénomène augmente rapidement vers l'Est, dans la partie haute du ravin de l'Estaragne, où le granite chevauche, non plus son auréole, mais un Dévonien moyen fossilifère à peine métamorphique. Compte tenu des répétitions tectoniques et de l'étirement de l'auréole, l'amplitude visible du chevauchement peut être évaluée à un millier de mètres, mais sa grandeur réelle est certainement de l'ordre de plusieurs kilomètres. Encore ne s'agit-il ici que du chevauchement du bord méridional du massif. Il faut, en réalité, lui ajouter tous les déplacements correspondant aux différentes zones laminées de l'intérieur.

Cette constatation est importante pour la compréhension des charriages classiques de la région de Gavarnie située immédiatement au Sud. Contrairement à ce que pouvaient laisser croire les contours de la feuille de Luz, le charriage vers le Sud n'est pas limité au sédimentaire (Primaire, Crétacé supérieur et Éocène), mais affecte violemment et profondément le *cristallin* situé plus au Nord. Du même coup se trouve éliminée une hypothèse qui pouvait naître de l'examen de ces mêmes contours, à savoir que le charriage pouvait résulter d'un simple décollement au niveau du Gothlandien, par un jeu de couverture.

En outre il est remarquable que, tandis que le déversement des zones mylonitiques qui traversent le batholite s'accentue du Nord au Sud, la puissance de ces zones, leur espacement et leur degré de mylonitisation ne varient pas de façon appréciable. Autrement dit, le batholite a réagi aux contraintes *uniformément* dans toute sa masse, mais suivant des modalités progressivement différentes : glissements voisins de la verticale au Nord, tendant graduellement vers l'horizontale au fur et à mesure qu'on se dirige vers le Sud.

Dans l'état actuel des observations la cause de cette divergence n'apparaît pas clairement. L'hypothèse la plus plausible consiste à admettre l'existence, au Sud du massif granitique, à l'époque où s'exercèrent les contraintes, d'une zone tectoniquement faible que l'on peut concevoir comme une région en voie d'affaissement, de synclinalisation, permettant la formation de fractures peu inclinées, par une sorte d'appel au vide.

GÉOLOGIE. — *Les directions de la tectonique hercynienne dans le Nord de l'Aveyron.* Note de M. **Pierre Lapadu-Hargues**, présentée par M. Charles Jacob.

Au Nord du Détroit de Rodez et au Sud des massifs du Cantal et de l'Aubrac, affleure une bande de terrains cristallophylliens qui s'étend sur la partie nord du territoire du département de l'Aveyron. Entre Entraygues, à l'Ouest, et Estaingt, à l'Est, un massif granitique, le massif d'Entraygues, vient interrompre les schistes cristallins sur près de 20^{km}.

Il m'a paru intéressant de relever de façon précise le sens des pendages et les directions des bancs métamorphiques, ici en quasi-totalité des micaschistes qui apparaissent dans cette région. Indiquons immédiatement que le granite d'Entraygues, appendice sud-occidental du gros batholite de la Margeride, est, comme ce dernier, nettement posttectonique par rapport à l'édifice hercynien et que les directions axiales de cet édifice n'ont pas été troublées lors de la mise en place du massif qui les recoupe franchement; les directions se retrouvent identiques de part et d'autre du granite.

De l'examen sur le terrain, deux conclusions semblent se dégager nettement :

1. Confirmation du renversement apparent des séries métamorphiques. Celles-ci présentent en effet, dans la région de Grand-Vabre, une large voûte anticlinale, constituée par des micaschistes à muscovite et séricite, donc peu profonds au sens magmatique, fait déjà signalé depuis longtemps par M. Boule [1]. Vers l'Est, donc sur le flanc oriental de cet *anticlinal*, se succèdent, avec des plongées ESE, des termes de plus en plus profonds au sens magmatique, micaschistes à deux micas, micaschistes profonds à grenats et à staurotide, enfin gneiss et même gneiss œillés passant par place à des migmatites de gneiss profonds (Saint-Chély-d'Aubrac). Cette succession avait été signalée plus complètement en 1945 [2].

2. Orientation générale des structures, ici franchement NNE-SSW. Et ceci est valable tant à l'Est (Saint Geniez-d'Olt, Espalion, Saint-Chély) que vers l'Ouest (Entraygues. Grand-Vabre, etc.)

Dans ces conditions, il me paraît difficile, au moins pour cette région, de

---

(1) *Bull. Service carte géol. de France*, **11**, 1899, p. 76.

(2) P. Lapadu-Hargues, *Comptes rendus*, **222**, 1946, p. 561.

souscrire sans réserve à l'hypothèse proposée par A. Demay dès 1932 ([3]) et plusieurs fois réaffirmée depuis lors, en particulier en 1946, par le même auteur ([4]), hypothèse selon laquelle la structure de cet ensemble du Massif Central trouverait son explication dans l'existence d'un grand arc antéstéphanien à convexité tournée vers le Sud. Il ne faut pas oublier en effet que Decazeville et toute la zone du Grand Sillon houiller sont très voisins de cette région et qu'ainsi on se trouve avoir dépassé l'axe médian du Massif Central Français. Il me paraît plus satisfaisant d'admettre une continuation d'un régime de plissement à direction générale moyenne NE-SW, rentrant ainsi plus ou moins dans le schéma tectonique proposé par E. Raguin ([5]). On pourrait encore dire, selon l'hypothèse que j'avais admise voilà deux ans que, par suite du *renversement apparent* de ses termes, la série métamorphique nord-aveyronnaise viendrait se mouler sur la série du Rouerge (Forêt des Palanges, Pont-de-Salars) ([6]). Cette dernière, avec une succession métamorphique d'apparence normale et de faciès très différent, aurait servi de butoir à une poussée venant du NW et ayant affecté la série nord-aveyronnaise.

GÉOLOGIE. — *Stratigraphie et âge du* continental intercalaire *dans le Gourara, le Touat et le Tidikelt* (*Sahara algérien*). Note de M. **Albert F. de Lapparent**, présentée par M. Charles Jacob.

C. Kilian ([1]) a désigné sous le nom de *continental intercalaire* la série argilo-gréseuse du Sahara qui, reposant en discordance sur le Primaire, est surmontée en concordance par le Crétacé supérieur marin. On n'avait pas indiqué jusqu'ici de subdivisions dans cette formation continentale pratiquement azoïque. Nous l'avons étudiée dans le Gourara, le Touat et le Tidikelt, c'est-à-dire à l'Ouest, au Sud-Ouest et au Sud du Tademaït, et nous sommes parvenu à y reconnaître quatre horizons superposés qui se révèlent suffisamment constants sur plus de 500^{km}.

A. La base comprend des argiles rouges, des grès roses et blancs, des grès rouges à stratification entrecroisée. Des dragées de quartz isolées, des lentilles de graviers, des conglomérats à bois silicifiés sont répartis un peu partout dans la masse des grès. Épaisseur très variable, 25 à 300^{m}.

B. Un grès très dur, déjà noté par A. Meyendorff sous le nom de *dalle quartzite*, forme un précieux repère que l'on suit de Timimoun à In Salah, déterminant des plataux ou couronnant des *gour*. Épaisseur constante, 1 à 2^{m}.

([3]) *Comptes rendus*, **195**, 1932, p, 804.

([4]) *Comptes rendus*, **222**, 1946 p. 119.

([5]) *Bull. Soc. Géol. France*, 4, **30**, 1930 p. 51.

([6]) P. Lapadu-Hargues, *loc. cit.*

([1]) *C. R. somm. Soc. géol. Fr.*, 1931, p. 109.

C. Au-dessus, vient un nouvel ensemble de grès à dragées, d'argiles, de grès *en pilules* (*kerboub*). Épaisseur, 40 à 100^{m}.

D. Enfin, le talus de la falaise du Tademaït est partout constitué par des argiles rouges ou panachées, coupées de un ou plusieurs bancs gréseux, et prenant à El Goléa un faciès plus pur d'argile à foulon (²). Épaisseur variant de 60 à 125^{m}.

Dans la région considérée, la série continentale ainsi définie se trouve encadrée entre le Viséen supérieur et même le Namurien plissés d'une part, le Cénomanien supérieur (niveau à *Neolobites Vibrayei*) d'autre part. Son âge a été discuté. Les uns tendaient à y voir un ensemble englobant peut-être du Permo-Trias, du Jurassique, du Crétacé inférieur. D'autres opinaient pour du Crétacé inférieur seul. Certains restreignaient encore en parlant de *grès albiens*.

Nous pensons qu'on doit considérer désormais les grès à dragées du Gourara, du Touat et du Tidikelt comme *un faciès continental de type wealdien, couvrant tout le Crétacé inférieur et lui seul.* Cette attribution repose sur deux considérations, l'une d'ordre paléontologique, l'autre d'ordre stratigraphique.

1. Quelques restes de Poissons et de Reptiles ont été récoltés à la partie inférieure et à divers niveaux dans les grès, mais exclusivement dans la série A. Ce sont : un Ganoïde nouveau, un Crocodile d'eau douce dont nous possédons à l'heure actuelle 15 dents et des plaques dermiques; puis de notables portions du crâne et des dents d'un Crocodile géant trouvé à Aoulef; enfin, un Dinosaurien Théropode, *Megalosaurus* (*Carcharodontosaurus*) *saharicus* Depéret, représenté par 5 grandes dents, deux vertèbres et diverses portions d'os. Depéret (³) a indiqué avec raison que ce Dinosaurien carnivore diffère des formes jurassiques et se rapproche au contraire des Théropodes crétacés. Depuis, le même animal a été retrouvé dans le désert d'Egypte (⁴) à la partie tout à fait supérieure des grès de Nubie, au contact immédiat du Cénomanien. On pourra donc dire que, dans notre région, le *continental intercalaire* est d'âge crétacé *dès la base*, et il faudra exclure l'idée d'y voir représentées des séries antérieures, jurassiques ou triasiques.

2. En Algérie, dans l'Atlas saharien, le Crétacé inférieur revêt le faciès des grès à dragées de quartz, non seulement dans l'Albien, mais aussi dans le Barrémien où cette formation atteint plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Tandis que là une intercalation marine, caractérisée par des fossiles d'âge aptien, permet des subdivisions, au Sahara on n'observe aucune coupure dans les grès à dragées qui doivent donc, par continuité, représenter au moins l'Albien, l'Aptien et le Barrémien.

On rapprochera ces remarques de la découverte de plantes caractéristiques du Néocomien dans le *continental intercalaire* du Messak (⁵), et l'on pourra penser que les grès à dragées du Sahara algérien correspondent à tout le Crétacé inférieur; la continuité de sédimentation avec le Cénomanien supérieur confirmerait l'attribution des argiles d'El Goléa au Cénomanien inférieur.

Finalement on peut se représenter de la façon suivante la paléogéographie

---

(²) J. de Lappapent, *Bull. Carte géol. Algérie*, 5ᵉ série, nᵒ 3, 1937.

(³) Ch. Depéret et J. Savornin, *Bull. Soc. géol. France*, 4ᵉ série, 27, 1927, p. 257.

(⁴) E. Stromer, *Wirbeltier-Reste der Baharije-Stufe*, nᵒ 10 (*Abhandl. d. Bayer. Akad. d. Wiss.*, n. f., 9, 1931).

(⁵) C. Killian et M. Lelubre, *Comptes rendus*, **222**, 1946, p. 233.

du Sahara algérien pendant la première partie des temps crétacés. Le massif cristallin du Hoggar, flanqué des pays primaires pré-tassiliens (C. Kilian), devait former au Sud une région surélevée couverte de forêts de Gymnospermes. La terre ferme était peuplée de Dinosauriens carnivores, tandis que des fleuves et des lacs donnaient asile à de gros Poissons ganoïdes et à des Crocodiles géants. Les cours d'eau dévalant vers le Nord entraînaient, en période de crue, des cadavres de Reptiles et des troncs d'arbres déjà silicifiés, avec des graviers et des grès : cet épandage s'étalait du Tidikelt au Mzab. A l'aurore du Crétacé supérieur s'établit un régime plus tranquille, sans doute par suite d'un abaissement du Hoggar; les argiles d'El Goléa se sédimentent alors dans un lac immense. Puis, l'abaissement continuant, la mer arrive du Nord, et, dès le Cénomanien supérieur, envahit doucement le lac; elle s'avancera au delà du parallèle d'In Salah, respectant toutefois le massif du Hoggar.

GÉOLOGIE. — *Sur l'extension du faciès urgonien entre Marseille et Toulon.* Note de M. **Georges Denizot**, présentée par M. Charles Jacob.

Tandis que dans la *fosse vosontienne*, le faciès marneux à Ammonites persiste durant tout le Crétacé inférieur, au contraire à Orgon et Saint-Chamas (Bouches-du-Rhône), comme à Donzère (Drôme), le Barrémien est remplacé par un calcaire compact, dit *urgonien*, à *Requienia ammonia*; il surmonte le Cruasien marneux à *Toxaster amplus* et fossiles de la zone à *Parahoplites angulicostatus*.

Au delà du synclinal de l'Arc, dans le cadre montueux de Marseille, ce calcaire urgonien s'épaissit par sa base et remplace aussi le Cruasien (¹) : l'ensemble fait 300ᵐ et repose directement sur l'Hauterivien marneux à *Toxaster retusus* et *Leopoldia castellanensis*; plus bas, on y trouve *Saynella clypeiformis*. En même temps, le Valanginien supérieur prend en dessous le même faciès calcaire que l'Urgonien, avec d'autres Rudistes et Foraminifères; il est séparé du Jurassique, également calcaire en son sommet, par des marnes verdâtres ou blafardes noduleuses, très caractéristiques ici d'un Valanginien inférieur sans Céphalopodes. Il en est ainsi à Allauch, comme au Sud de l'Huveaune.

Si l'on passe vers Toulon, on trouve une autre succession. La masse calcaire d'Ollioules et du Faron, puissante de 500ᵐ, montre au sommet *Requienia ammonia* (le Revest) avec des Orbitolines; à sa base, il n'y a qu'une mince assise marneuse pour la séparer du calcaire lié aux dolomies jurassiques, sans la moindre apparence d'une deuxième intercalation calcaire.

On a pris cette marne, unique ici, pour hauterivienne; et le calcaire subor-

---

[1] G. Denizot, *Massifs de Marseilleveyre et de Puget* (*Ann. Musée Marseille*, 1934).

donné pour valanginien, en faisant intervenir une tectonique difficile. Mais cette marne, visible à l'entrée des Gorges d'Ollioules, a rigoureusement le faciès vert noduleux du Valanginien, elle m'a livré le même *Cardium Voltzi* qu'autour de Marseille. C'est la marne hauterivienne qui manque; elle est ici remplacée par du calcaire compact.

De même, ce qui a été donné comme urgonien à Tourris est du calcaire valanginien [2]; il en est de même plus loin, à Camps [3].

La liaison des coupes d'Allauch et d'Ollioules se fait sur leur intervalle d'une trentaine de kilomètres. Aux Lyonnaises, tout l'Hauterivien supérieur passe à du calcaire jaunâtre spathique à Térébratules; au Sud-Est d'Aubagne, on ne distingue que de l'Hauterivien inférieur, comme à l'Est de Gémenos. Autour de Cuges et à Signes, G. Corroy [4] a noté la réduction extrême de l'Hauterivien, indépendamment des accidents tectoniques. Enfin, à la montée du Camp, l'Hauterivien ne se reconnaît plus que par une teinte rougeâtre au sein du calcaire compact.

Ainsi l'extension du faciès calcaire urgonien, aux dépens du faciès marneux barrémien, se poursuit à partir d'Orgon vers le Sud-Est absorbant le Cruasien, puis tout l'Hauterivien et alors se soudant au faciès semblable du Valanginien. Devant Toulon, il ne subsiste plus qu'une mince marne du Valanginien inférieur, pour séparer cette masse épaissie du calcaire, lui aussi semblable, qui termine le Jurassique.

Toute cette masse calcaire, extension du faciès urgonien, se termine brusquement ici avec sa puissance maximale : cette limite apparaît originelle, et non le fait des érosions. Sur cette bordure, le calcaire se charge de menus grains de quartz détritiques, que d'ailleurs on retrouve, de plus en plus fins et de plus en plus rares, jusqu'à Marseille. Signalons qu'il en est de même sur la bordure symétrique : de tels grains incorporés, qui sont un fait originel, et non le fruit de remaniements ultérieurs, ont été déjà signalés à Alès par J. Goguel.

On a donc l'indication de récifs barrières devant les territoires hercyniens, comme le Massif des Maures : ceux-ci restaient assez plats pour ne pouvoir fournir de gros apports détritiques, pendant que se poursuivait la subsidence du bassin maritime.

PALÉONTOLOGIE. — *Paléontologie et rayons X.*

Note de M. **Jean Roger**, présentée par M. Charles Jacob.

Quelques mois après la découverte des radiations nouvelles par Rœntgen, dès 1896, Victor Lemoine en France et Bruhl en Allemagne en essayaient

---

[2] Mlle J. Pfender (*Bull. Soc. géol. France*, 5e série, 4, p. 466; 8, p. 234) avait reconnu, par leurs microfaunes, le caractère valanginien de ces calcaires.

[3] G. Denizot, *C. R. som. Soc. géol. France*, 25 mars 1946.

[4] *Bul. Carte géol. France*, **201**, 1939, p. 36.

l'application à la paléontologie et aux sciences naturelles en général. Ensuite des essais furent tentés dans différents pays, mais toujours sans continuité et le plus souvent sans méthode [1]. Tout l'intérêt que l'application des rayons X aux études paléontologiques peut présenter n'a pas été, de très loin, exploité.

Une installation destinée à cet usage est actuellement en fonctionnement et en cours de développement au Centre d'études et de documentation paléontologiques du Muséum d'Histoire naturelle.

L'appareil utilisé est celui qu'emploient couramment les médecins. Les caractéristiques techniques sont les suivantes. La distance foyer-film varie de 60^{cm} à $1^{m},20$, ou plus, suivant la dimension des échantillons. Pour le voltage, nous le faisons varier de 20000 à 80000 volts suivant l'épaisseur et surtout suivant la nature des matériaux étudiés. L'intensité va de 1 mA à 10 mA, et le temps de quelques secondes à 20 minutes; ces deux caractéristiques sont en relation et ne dépendent que de l'opacité d'ensemble.

Pour les objets d'épaisseur très inégale, nous avons utilisé la méthode des solutions équiopaques de sels de plomb, qui nous fut enseignée par J. J. Trillat. Par ce procédé les résultats sont fortement améliorés et nous préconisons sa généralisation. Des expériences sont également en cours pour obtenir, par imprégnation par des solutions de sels de plomb ou de fer, ou par des précipités métalliques, un plus grand nombre de résultats positifs. La pratique des microradiographies est également à conseiller, mais elle exige un matériel plus complexe, et jusqu'ici quelques essais seulement ont pu être tentés dans le Laboratoire spécialisé de J. J. Trillat du C. N. R. S. à Bellevue (S.-et-O.).

Les résultats très encourageants obtenus jusqu'ici montrent surtout le parti qu'on pourra tirer de l'utilisation méthodique des rayons X en paléontologie.

La valeur des radiographies dépend en premier lieu des gisements d'où provient le matériel. Certains, comme les schistes ardoisiers du Dévonien inférieur du Hunsrück (Bundenbach et Guemünden), fournissent d'excellents clichés pour presque tous les groupes d'animaux et particulièrement pour les Echinodermes et les Arthropodes. Un fossile de ce gisement, considéré comme très énigmatique, nous a fourni à la radiographie des éléments très utiles pour son interprétation. Cet organisme de forme triangulaire allongée (175^{mm} sur 37^{mm}), portant un renflement ovoïde à l'extrémité la plus large, était placé, suivant les auteurs, dans les Éponges, les Cœlentérés, les Holothuries, etc. La radiographie révèle l'existence d'un axe, d'allure segmentée, ce qui pose le problème sur d'autres bases. Les études en vue de l'élucider sont en cours.

Si, avec ce procédé, ce gisement a été particulièrement étudié par le docteur Lehmann de Kirn, il n'en demeure pas moins que beaucoup d'autres pourraient fournir d'aussi bons résultats, ainsi que nous avons pu nous en convaincre. Les schistes du Dévonien moyen de Wissenbach (Nassau), ceux

---

(1) Voir la bibliographie complète sur la question dans : J. Roger, *Sur l'application des rayons X aux études paléontologiques* (*Bull. Mus. nation. Hist. nat.*, 19, n° 1, 1947 (2), pp. 118-120; n° 2 pp. 224-229) et dans J. J. Trillat et J. Roger, *L'utilisation des rayons X en Paléontologie* (à l'impression dans la *Revue scientifique*.)

du Silurien de Saint-Sauveur-le-Vicomte (Manche), les schistes à Graptolithes du Silurien d'Oslo, ceux du Lias supérieur de la région de Stuttgart (Boll et Holzmaden), fournissent d'excellents résultats. On attribue la valeur des radiographies obtenues avec les schistes noirs à l'existence d'un très mince recouvrement de pyrite sur les restes d'organismes. Le problème en réalité est très loin d'être résolu et, avec des grès permiens à ossements de Madagascar, nous avons réussi de très bons clichés. Les calcaires semblent être beaucoup moins favorables, et c'est essentiellement pour eux que les essais d'imprégnations et de précipités métalliques ont été tentés, avec de premiers résultats encourageants.

Les clichés obtenus à l'aide des rayons X avec des plaques entières donnent une vue plus complète sur l'ensemble de la faune du gisement : l'idée d'association apparaît immédiatement; les conditions de fossilisation se voient; des organismes invisibles de l'extérieur deviennent repérables.

Il est en outre possible d'étudier des fossiles isolés et les succès obtenus dépendent beaucoup des groupes. Les végétaux fossiles n'ont à peu près pas été étudiés par cette méthode. Cependant des microradiographies sur plaques minces nous ont donné des indications sur les possibilités de la méthode. Les Foraminifères, notamment les Nummulites, fournissent des images susceptibles de remplacer les sections polies. Avec les Graptolithes, les résultats dépendent largement des conditions de fossiliation. Des Éponges siliceuses montrent les trajets des divers canaux, et les résultats sont bien meilleurs avec la méthode des solutions équiopaques. Ils seraient encore améliorés par des stéréoradiographies. La détermination de certains Bryozoaires a pu être obtenue par ce procédé, et des associations de ces organismes avec des Gastropodes sont ainsi explicables (²). La face ventrale des Trilobites, les charnières de Lamellibranches, les columelles de Gastropodes, les lignes de suture de Céphalopodes, tous ces caractères peuvent, très simplement, devenir visibles sur des radiographies.

Il est inutile de multiplier les exemples. Les rayons X peuvent fournir à la paléontologie une aide précieuse ne nécessitant aucune préparation laborieuse ni de grandes pertes de temps. La généralisation de cette technique peut fournir des indications plus nombreuses sur les groupes rares, des données morphologiques nouvelles sur d'autres. Il y a intérêt à ne pas négliger les techniques, surtout dans un domaine comme la Paléobiologie où les documents sont rares et fragmentaires.

(²) E. Buge, *Solution de quelques problèmes bryozoologiques à l'aide des rayons X* (à l'impression dans le *Bull. Mus. nation. Hist. nat.*)

GÉOGRAPHIE PHYSIQUE : SPÉLÉOLOGIE. — *Le gouffre de la Hennemorte, massif d'Arbas (Haute-Garonne).* Note (¹) de MM. **Félix Trombe** et **Norbert Casteret**, présentée par M. Emmanuel de Martonne.

L'orifice du gouffre de la Hennemorte s'ouvre dans les calcaires (urgo-aptiens) du lapiaz chaotique de la Coumonère, à plusieurs kilomètres à l'ouest du village d'Arbas (Haute-Garonne) et à l'altitude de 1330^{m}.

Depuis 1940, huit explorations, effectuées par l'un de nous (²) et ses collaborateurs, ont montré le développement vertical exceptionnel de ce réseau souterrain qui comporte une succession de grands abîmes parcourus par d'abondantes cascades. Au prix de très grandes difficultés et dans des conditions précaires et dangereuses, la profondeur de 355^{m} fut atteinte en 1943 (²).

En 1940 (août et décembre), *le Spéléo-Club de Paris* entreprit deux descentes d'études préparatoires à une expédition prévue pour le mois d'août 1947, avec le concours de l'Armée (5e région militaire), de la Direction des Sports, du Club Alpin français, de la Fédération française de la Montagne et du Centre National de la Recherche Scientifique (Commission de Spéléologie). Cette expédition a comporté deux descentes d'aménagement (22 et 24 août), une attaque en profondeur (du 27 août au 2 septembre) et une descente de déséquipement et de coloration des eaux souterraines (4 septembre).

Nous donnons ici le résumé des résultats obtenus :

1° Les explorateurs (³), grâce à divers aménagements du gouffre, ont pu descendre à 250^{m}, puis à 355^{m}, pratiquement protégés des grandes chutes verticales que parcourt la rivière souterraine ($t^{o} = 4^{o}$C.) ;

2° A 250^{m}, un camp-relais pourvu de tentes de toiles et de planchers isolants a permis le repos des équipes de descente et leur séjour sous terre pendant une durée de 130 heures consécutives (5 j. 1/2);

3° Des liaisons téléphoniques et radiotéléphoniques ont été maintenues entre les différents relais (la surface, — 85, — 130, — 180, — 250, — 400^{m}). Le fonctionnement des liaisons souterraines par radio a été particulièrement encourageant;

4° Le fond du gouffre, — 446^{m}, qui se présente sous la forme d'une voûte siphonnante de petites dimensions, a été atteint. C'est la première fois, sur le

---

(¹) Séance du 20 octobre 1947.

(²) Norbert Casteret, *Le gouffre de la Hennemorte* (*Revue du Comminges*, 58, 1er, 2e, 3e, 4e trimestres 1945, pages 33 à 46, 49 à 66).

(³) MM. P. Baylac, Abbé Cathala, N. Casteret, Dr Clamagirand, P. Clément, J. Deudon, E. Dresco, J. Ertaud, R. Gaché, M. Ichac, J. Jonquières, M. Loubens, J.-P. Maille, F. Maille, Lt. du Puy-Montbrun, F. Trombe, relayés par MM. R. Casteret, J. Delteil, C^{de} de la Hitte, Lt. Laguille, J. Nègre, M. d. L. de Salies, Adj. Vigoroux et une équipe de surface sous la direction de A. Chavigner.

territoire de la France continentale que l'on réussit, dans les cavités du calcaire, à descendre puis à remonter sur une telle distance verticale (4);

5° *Le débit des eaux souterraines est régularisé par les étroitures terminales du gouffre.* L'eau remonte parfois, ainsi qu'en témoignent des dépôts de limon argileux, à plus de 60m et peut-être 90m au-dessus des étroitures. Ainsi s'expliquent les discordances, causes d'interprétations fantaisistes, que l'on avait observées entre le débit instantané des eaux souterraines et ceux des résurgences possibles (Hount deras Hechos, Goueil-di-Her, Lac Bleu).

6° La coloration des eaux, effectuée le 4 septembre 1947 (5) à l'aide de 100kg de fluorescéine soluble, s'est retrouvée 24 heures après, à la suite d'un violent orage, à la source dite *Hount deras Hechos*, origine du ruisseau de Planque, principal affluent de l'Arbas.

Un réseau hydrologique important, d'orientation Sud-Nord et d'une dénivellation totale de 600m, est donc maintenant connu et en grande partie pénétrable entre le gouffre de la Hennemorte et la vallée de Planque. La partie amont de ce réseau s'étend probablement au sud et à l'ouest de la Hennemorte, vers le ruisseau souterrain de Coumonère (6) (altitude 1350m) et les effondrements supérieurs du Plantillet et du Pic de Touech (altitude 1500m).

Les résultats de l'exploration du gouffre de la Hennemorte et de la coloration de ses cascades illustrent de la plus heureuse façon et à grande échelle le mécanisme des percées hydrologiques en roche calcaire dont Martel avait, dès 1888, prévu les lois.

ANATOMIE VÉGÉTALE. — *Trachéides à ponctuations aréolées à ouvertures circulaires dans le genre* Calycanthus. Note (1) de M. **Robert Lemesle**, présentée par M. René Souèges.

La présence de trachéides a été mentionnée dans le bois secondaire des Calycanthacées; mais ces éléments n'ont pas été décrits d'une façon précise. Il nous a paru intéressant d'étudier leur nature exacte dans cette famille dont le représentant principal, le genre *Calycanthus*, se fait remarquer par les caractères fort archaïques de la fleur. Dans ce but, nous avons examiné les tiges des

---

(4) Rappelons que l'Anou Boussouil, dans le Massif du Djurjura (Algérie), a une profondeur de 520m; rappelons aussi que le réseau souterrain du trou du Glaz (Isère), percée hydrologique de 658m, comporte plusieurs orifices à flanc de montagne qui ont permis son exploration totale par expéditions successives (P. Chevalier, *Comptes rendus*, **224**, 1947, pp. 1144 et 1210).

(5) Coloration faite à 130m par le Lieut. Auriol, N. Casteret, R. Casteret, E. Dresco, J. Delteil, F. Maille, J. P. Maille, Adj. Y. Sicchi, F. Trombe.

(6) F. Trombe, *Gouffres et cavernes du Haut-Comminges* (*Trav. scientifiques du C. A. F.*, 1943, pp. 22 et suiv.).

(1) Séance du 20 octobre 1947.

espèces suivantes : *Calycanthus occidentalis* H. et A. de Californie, *C. floridus* L., *C. lævigatus* Willd., *C. glaucus* Willd., d'Amérique boréale, *Chimonanthus fragrans* Lindl. du Japon, *Ch. nitens* Oliv. de Chine.

Dans les diverses espèces de *Calycanthus*, le bois secondaire, en anneau continu, est divisé en nombreux secteurs par des rayons médullaires uni ou bisériés; chacun de ces secteurs renferme de nombreuses fibres libriformes, puis des vaisseaux ouverts à ponctuations aréolées presque contiguës, circulaires ou elliptiques; les ouvertures de ces aréoles sont tantôt rondes, tantôt étirées dans le sens tangentiel; les faces internes de ces vaisseaux offrent la striation spiralée. Nous observons d'autre part la présence de trachéides terminées en pointe effilée, dont la longueur varie de 80 à 360$^{\mu}$ et le calibre de 18 à 25$^{\mu}$; leur contour est carré ou rectangulaire; toutes leurs faces sont munies de ponctuations aréolées circulaires très rapprochées, disposées en une seule file, parfois en deux rangées alternantes; le diamètre des aréoles atteint 8$^{\mu}$ et les *ouvertures sont rondes*. Les faces internes de ces trachéides sont pourvues de bandes spiralées très minces, lesquelles en s'entrecroisant forment un fin reticulum. Quelques-uns de ces éléments se font remarquer par l'absence de perforations; mais, le plus souvent, ils communiquent entre eux par des perforations simples, de forme oblongue, situées ordinairement au voisinage des extrémités.

Le xylème des deux espèces de *Chimonanthus* examinées renferme les mêmes constituants; cependant quelques différences sont à signaler, principalement en ce qui concerne les trachéides. Leur contour est quadrangulaire ou pentagonal; leurs épaississements spiralés internes sont plus saillants et les tours de spires plus espacés; mais surtout les ponctuations aréolées se distinguent par leurs *fentes obliques et croisées* qui atteignent environ la moitié du diamètre de l'aréole. Ici encore on observe la coexistence de *trachéides vraies* et de *trachéides ouvertes*, ces dernières plus fréquentes.

Ces recherches nous permettent de mettre en évidence, dans le *Calycanthus*, une particularité fort rare chez les Angiospermes hétéroxylées : la présence, dans le xylème, de trachéides à ponctuations aréolées à *ouvertures circulaires* semblables à celles des Coniférales. Ce caractère, joint à la striation spiralée de la face interne, nous amène à établir une analogie avec les Taxées. Or, les aréoles à ouvertures rondes constituent le type le plus archaïque; des ponctuations analogues ont été décrites par Krausel[2] dans le plus ancien fossile vasculaire connu : *Archæoxylon Krasseri* Krausel, découvert par Krasser près de Prague, dans une couche bitumineuse précambrienne. Ce type est donc plus primitif que les ponctuations aréolées à ouvertures obliques et croisées, fréquentes chez les Cycadales et les Bennettitales qui n'ont fait leur apparition qu'au Permien. A ce point de vue, le *Calycanthus* se distingue du *Chimonanthus* dont les trachéides réalisent le type cycadéen par les ouvertures obliques et croisées des aréoles.

Si l'on examine la fleur, on constate une différence importante entre les deux genres : le *Calycanthus* se fait remarquer par le nombre indéfini des étamines fertiles et des staminodes. Chez le *Chimonanthus*, l'androcée se réduit à

---

(2) *Archæoxylon Krasseri, ein Pflanzenrest aus dem böhmischen Präkambrium*. (*Naturwiss. Zeits. Lotos*, 72, 1924, p. 32.)

5 étamines fertiles et à 5-8 staminodes, caractère plus évolué. Les particularités des trachéides se joignent ainsi aux données de la morphologie florale pour révéler, chez le *Calycanthus*, un degré d'archaïsme plus accentué que chez le *Chimonanthus*.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Sur la printanisation des végétaux cultivés et indigènes.* Note de MM. **Roger David** et **Jean Sechet**, présentée par M. Henri Devaux.

La technique de la printanisation, qui apparaît comme un moyen commode pour rechercher l'utilité de certains facteurs externes, comme la température, pour le développement des végétaux, a permis à l'un de nous d'obtenir par l'action du froid, des modifications souvent importantes du développement : des céréales d'hiver semées au printemps ont réussi à fructifier, tandis que les témoins non traités restent acaules et stériles. Pour d'autres espèces que l'on sème normalement au printemps, le traitement se traduit seulement par une avance à la floraison par rapport aux témoins non traités.

Tout en essayant de préciser par des méthodes cytologiques et chimiques [1] le déterminisme de ces manifestations, nous avons voulu rechercher pour d'autres espèces encore, indigènes et cultivées, dans quelle mesure l'action des basses températures sur les semences en germination influence leur développement ultérieur. La technique employée était celle utilisée dans nos recherches précédentes [2]. Nous avons obtenu les résultats suivants :

Thlaspi arvense : traitement, + 2°C. pendant 32 jours; semis le 21 mars 1947. Vitesse de croissance de la tige d'abord beaucoup plus grande chez les sujets traités que chez les témoins jusqu'à la floraison. Puis, accroissement de la tige plus rapide chez les témoins. Taille définitive des plantes non traitées sensiblement la même que celle des sujets printanisés. Avance à la floraison de 17 jours et avance à la fructification d'une dizaine de jours.

Jusquiame (*Hyoscyamus niger*) : traitement : + 2° C. pendant 46 jours; semis le 16 avril 1947. Croissance d'abord accélérée par rapport aux témoins, puis retardée. Taille définitive des plantes adultes sensiblement la même dans les deux cas. Avance à la floraison de 8 *jours* environ chez les sujets traités.

Delphinium Ajacis : traitement : + 2° C. pendant 46 jours. Semis le 16 avril 1947. Vitesse de croissance de la tige d'abord plus faible chez les témoins que chez les plantes printanisées, ensuite plus grande (deux mois après le semis). Plantes adultes témoins n'atteignant jamais la taille des plantes printanisées. Floraison : 10 *jours* plus tôt chez les plantes printanisées que chez les témoins.

---

(1) *Comptes rendus*, **124**, 1947, p. 146; *C. R. de la Soc. Biol.*, **139**, 1945, p. 229; **139**, 1945, p. 560; **139**, 1945, p. 643; **141**, 1947, p. 459.

(2) *Comptes rendus*, **219**, 1944, p. 628 et **220**, 1945, p. 118.

Pois chiche (*Cicer arietinum*, variété à graine noire); traitement : + 2° C. pendant 36 jours; semis le 21 mars 1947. Taille des plantes traitées : d'abord légèrement supérieure jusqu'à la floraison à celle des témoins, puis inférieure. Apparition des boutons floraux : 4 à 5 jours plus tôt chez les plantes printanisées que chez les témoins. Dessiccation également plus précoce. Diminution du rendement de 15 % environ, mais poids moyen des graines des sujets traités légèrement supérieur (7 %) à celui des témoins.

Cameline (*Camelina sativa*); traitement : 33 jours à + 2° C.; semis le 21 mars 1947. Croissance des plantes sensiblement la même que celle des témoins jusqu'à la floraison qui se produit 4 à 5 jours plus tôt chez les plantes traitées. Fructification également plus précoce limitant l'accroissement de la tige. Plantes adultes printanisées ayant une taille définitive inférieure à celle des témoins (55^{cm} au lieu de 80^{cm}).

Épinard : traitement + 2° C. pendant 31 jours, semis le 21 mars 1947. Croissance des feuilles plus rapide chez les plantes printanisées que chez les témoins. Surface foliaire de ces derniers toujours inférieure pendant le premier mois de végétation à celle des plantes traitées. Montée et floraison plus précoces que chez les témoins.

En résumé, chez les espèces dont la tige s'allonge progressivement (Pois chiche, Cameline), la vitesse de croissance des sujets traités d'abord plus grande que celle des témoins devient ensuite plus faible, si bien que la taille définitive de ces derniers est toujours sensiblement supérieure à celle des plantes printanisées. La différence de taille, plus accentuée dans le cas de la Cameline que dans celui du Pois chiche, provient du fait que chez la Cameline les rameaux ne s'accroissent jamais beaucoup par rapport à la tige principale tandis que chez le Pois chiche, plusieurs rameaux prennent naissance vers la base de la tige principale et s'allongent presque autant que cette dernière. Parmi les autres espèces étudiées, celles qui présentent le phénomène de la montée (Thlaspi, Jusquiame) ont une taille définitive qui est à peu près la même dans les deux cas (sujets traités et témoins), mais pour le *Delphinium*, les témoins n'atteignent jamais la taille des plantes printanisées. Ces résultats confirment ceux obtenus précédemment par l'un de nous ([1]) avec divers végétaux cultivés. De plus, parmi les espèces étudiées, cette fois, nous avons noté pour deux d'entre elles (*Thlaspi*, *Delphinium*) une grande précocité de floraison analogue à celle déjà obtenue par l'un de nous avec la Laitue et le Radis ([2]). Notons, en outre, que ce sont les espèces qui ne montent pas (Pois chiche, Cameline) et dont les plantes printanisées ont une taille définitive inférieure à celle des témoins, qui accusent la plus petite avance à la floraison. Remarquons enfin que les semis des diverses espèces n'ont pas pu être effectués à la même époque; il se pourrait que la longueur du jour ait une influence sur le développement de certaines d'entre elles. De nouvelles expériences où l'on opérerait avec des photopériodes constantes pourraient permettre de contrôler

l'hypothèse de Lysenko (infirmée d'ailleurs par Grégory et Purvis) selon laquelle les plantes passent pendant leur développement par des phases obligatoirement *consécutives*.

ALGOLOGIE. — *Sur la cytologie et la position systématique de* Dichotomosiphon tuberosus (*A. Br.*) *Ernst*. Note [1] de MM. **Marius Chadefaud** et **Henri Rossat**, présentée par M. Roger Heim.

La rarissime Algue verte d'eau douce *Dichotomosiphon tuberosus*, à thalle filamenteux siphoné et ramifié, et à reproduction sexuelle oogame, avait été d'abord rangée parmi les Vauchéries (*Vaucheria tuberosa* A. Br.). Elle en a été séparée par Ernst (1902) qui serait plutôt d'avis de la rapprocher des Caulerpes et de leurs alliées, et qui a créé pour elle le genre *Dichotomosiphon*, en se basant notamment sur le fait qu'elle possède des *grains d'amidon*. C'est aussi près des Caulerpes que la range Mirande (1913), après avoir constaté que, comme celles-ci, elle possède des *parois callosiques*. Toutefois, l'opinion de ces deux auteurs n'a pas été universellement admise, et c'est toujours parmi les Vauchériacées que cette espèce figure dans les traités classiques de Oltmanns (1922), Pierre Dangeard (1933) et Fritsch (1934), de sorte que sa position systématique continue à constituer un problème non résolu.

Or, on dispose d'un critère cytologique précis pour savoir si, oui ou non, elle doit être rapprochée des Caulerpales, depuis que l'un de nous a fait connaître (M. Chadefaud, 1936) que celles-ci présentent un caractère extrêmement remarquable, celui d'être *hétéroplastidiées*, c'est-à-dire de posséder, mélangés dans toutes les parties de leur thalle, à la fois des chloroplastes, amylogènes ou non, et des leucoplastes, générateurs de grains d'amidon.

Ayant pu nous procurer, en provenance de la station classique de Bagnères-de-Bigorre, des *Dichotomosiphon* encore vivants, nous leur avons appliqué ce critère, et nous avons pu constater, comme d'ailleurs les figures de Ernst (mais non son texte, qui est fautif) permettaient de le soupçonner, qu'il s'agit bien d'une espèce *hétéroplastidiée*, à la façon des Caulerpales et des formes voisines. On le constate aisément en examinant des filaments, soit vivants, soit traités par la solution iodo-iodurée. Selon les filaments étudiés, les chloroplastes sont, soit allongés, d'un vert intense, et alors généralement non amylifères (*fig.* 1), soit discoïdes et plus pâles, avec, dans leur intérieur, un ou deux petits grains d'amidon (*fig.* 2). Dans tous les filaments, il y a en outre des leucoplastes, bien plus petits que les chloroplastes, dans lesquels se forment des grains d'amidon. D'abord très petits, ceux-ci grossissent, et arrivent à devenir aussi gros que les chloroplastes, entre lesquels un examen rapide ferait croire qu'ils sont libres dans le cytoplasme (*fig.* 1 et 2). En outre, on observe sans diffi-

(1) Séance du 20 octobre 1947.

culté de nombreuses mitochondries granuleuses (*fig.* 1 et 2), et les colorations vitales révèlent qu'une partie de l'appareil vacuolaire est logée dans le cyto-

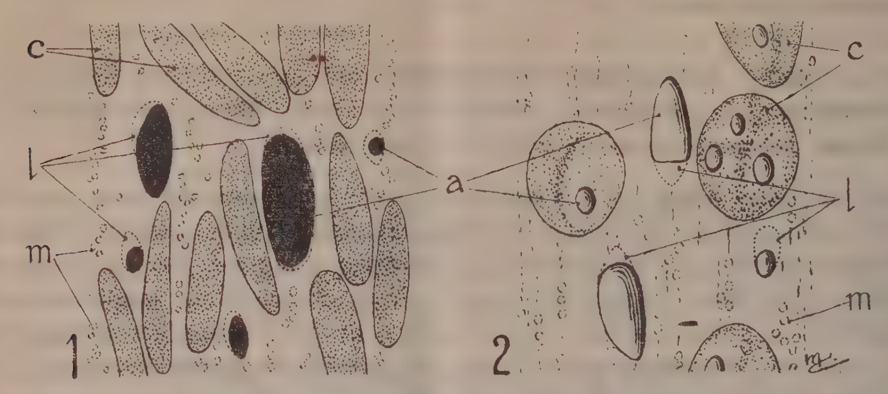


Fig. 1 et 2. — Chloroplastes (c), leucoplastes (b), amidon (a) et mitochondries (m) de *Dichotomosiphon tuberosus*, observés après coloration à l'iode en 1, et sur le vivant en 2.

plasme pariétal, un peu comme chez les Cladophores, selon P. Dangeard (1930).

Ces observations nous paraissent apporter une solution définitive au problème de la position systématique du *Dichotomosiphon* : il s'agit bien, non pas d'une Vauchériale, mais d'une *Caulerpale vauchérioïde*.

ANTHROPOLOGIE. — *L'Homme fossile Tayacien de la grotte de Fontéchevade.* Note de Mlle **Germaine Henri-Martin**, présentée par M. Louis Fage.

Il a été mis à jour le 16 août dernier dans la grotte de Fontéchevade, commune de Montbron (Charente), une calotte crânienne humaine fossile, provenant d'un niveau du paléolithique inférieur.

La grotte de Fontéchevade, située à flanc de côteau dans une petite vallée tributaire de la Tardoire, a été fouillée anciennement par différents préhistoriens qui y recueillirent des industries allant du Moustérien au Magdalénien; ils se trouvèrent arrêtés dans leurs recherches par un plancher stalagmitique.

Le talus de la grotte était resté intact et j'entrepris des recherches dans ce talus. Une couche archéologique, ignorée jusqu'alors, est apparue. Elle se trouvait dans une terre rouge argilo-sableuse, recouverte par un épais plancher stalagmitique, et j'ai pu me rendre compte en poursuivant mes travaux que cette couche existait dans la grotte sous les niveaux mentionnés plus haut, dont elle était séparée par ce même plancher stalagmitique. Ce niveau est caractérisé par une faune tempérée chaude, comprenant notamment les espèces suivantes : *Rhinoceros merckii*, *Dama* sp., *Cuon*, *Testudo græca*, etc, et une industrie très grossière à éclats. Cette industrie, examinée par M. l'Abbé Breuil, a été

reconnue semblable à celle des plus bas niveaux de la Micoque, et dénommée par lui *Tayacien*.

La couche tayacienne de Fontéchevade présente une épaisseur visible maxima de sept mètres. Les pièces recueillies dans cette couche se trouvent principalement dans des poches où les ossements et les silex sont associés. C'est dans ces conditions, à $2^m,60$ de la surface du sol et à $0^m,70$ au-dessous du plancher stalagmitique, que j'ai trouvé la calotte crânienne humaine. Dans la poche où elle était, j'ai recueilli entre autres une phalange de Daim, des fragments d'os longs indéterminables, une dent d'hyène, de la petite faune et une quinzaine de silex tayaciens; à proximité, et au même niveau, une autre poche contenait une dent de *Rhinoceros merckii*.

Au moment de la découverte, la calotte crânienne était assez fragile; actuellement, dégagée de sa gangue, extérieure elle s'est consolidée, ce qui a permis un premier examen. Les parties suivantes sont en connexion anatomique: une portion importante du frontal, les deux pariétaux, une portion du temporal gauche. Parmi les fragments détachés se trouve probablement une partie de l'occipital. Malheureusement l'arcade sourcilière manque, mais son absence est en partie compensée par le fragment d'un second crâne, trouvé à une distance d'à peu près trois mètres dans le même horizon. Ce fragment comporte la glabelle et une petite portion de l'orbite gauche.

On ne peut, avant qu'une étude approfondie en ait été faite, formuler une opinion au sujet du type humain trouvé dans le Tayacien de Fontéchevade, mais on doit noter que les parties frontales n'offrent aucune indication laissant supposer l'existence d'une visière massive, telle qu'on la retrouve chez l'Homme de Néanderthal. Par contre, à la suite des premières observations, il semblerait permis d'émettre une hypothèse d'après laquelle on pourrait rapprocher la calotte crânienne de Fontéchevade de celle de l'*Homo sapiens*.

ZOOLOGIE. — *Sur la structure des organes génitaux accessoires femelles de la Blatte,* Blatta orientalis *L.* Note [1] de M. André Voy, présentée par M. Maurice Caullery.

En dépit d'assez nombreux travaux [2], il règne encore, au sujet de l'anatomie des organes génitaux accessoires de la Blatte femelle, une certaine confusion, encore aggravée par des différences de terminologie entre les auteurs. Ces organes, très petits, n'atteignent leur plein développement que chez des imagos ayant subi depuis longtemps leur dernière mue. De plus, ils sont complètement masqués par un tissu adipeux très abondant, de même couleur qu'eux, qui les enrobe. Enfin, leur étude ne doit être séparée, ni de celle de

(1) Séance du 20 octobre 1947.
(2) Le dernier en date est celui de L. Chopard, *Thèse Fac. des Sc. Paris*, 1920.

l'oviducte, ni de celle de l'oviscapte. J'ai utilisé une technique personnelle pour la coloration des fines membranes de chitine et j'ai confronté les résultats de l'étude anatomique avec ceux fournis par la méthode des coupes en série à la paraffine.

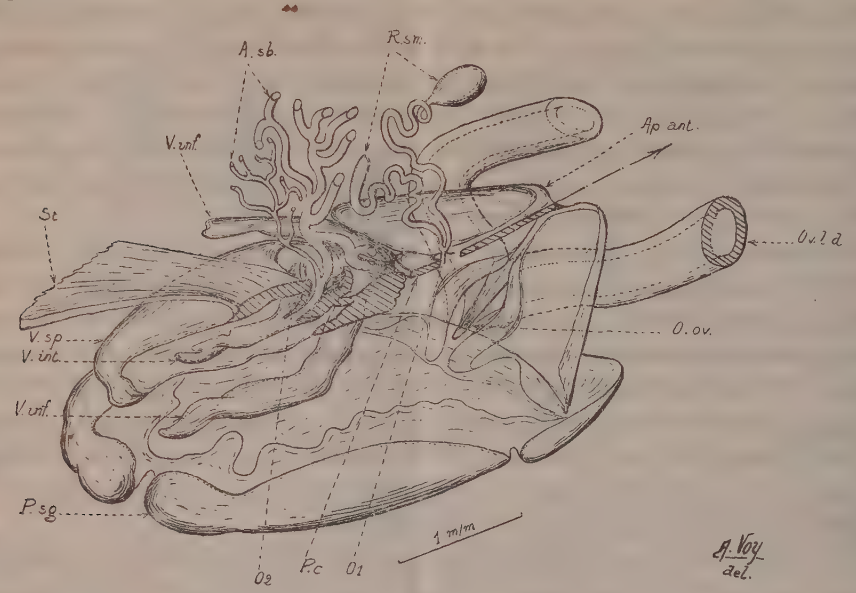


Schéma de la poche copulatrice et des organes accessoires de la Blatte femelle.
La moitié droite de l'oviscapte est supposée enlevée.

O. v. l. d., oviducte latéral droit; *O. ov.*, orifice des aviductes dans la poche copulatrice; *V. inf.*, valve inférieure gauche; *Ap. ant.*, apophyse antérieure de la valve inférieure; *P. c.*, pièce en croissant; *V. sp.*, valve supérieure gauche; *V. int.*, valve interne gauche; *St.*, membrane du 7e sternite; *R. sm.*, réceptacle séminal; O_1, son orifice dans la poche copulatrice; *A. sb.*, appareil sébifique; O_2, son orifice; *P. s. g.*, valvule droite de la plaque sous-génitale (8e sternite).

J'envisagerai successivement : 1° la poche copulatrice, vestibule génital recevant les organes mâles; 2° le réceptacle séminal, réservoir où est emmagasiné le sperme; 3° l'appareil sébifique, glande sécrétant la substance de l'oothèque.

1° *Poche copulatrice.* — La poche copulatrice, dont la paroi est constituée par un épithélium cubique présentant de nombreux canalicules intracellulaires de 1 μ de diamètre, a son plafond formé d'avant en arrière :

a. par la lame supérieure des apophyses antérieures des valves inférieures de l'oviscapte ou *pièce trapézoïdale* de Peytoureau [3];

b. par les bases des valves intérieures de l'oviscapte, unies par l'intermédiaire de la *pièce en croissant* de Miall et Denny [4], dans laquelle s'ouvre le canal séminal;

---

[3] *Thèse Fac. des Sc. Paris*, 1895.

[4] London, 1886.

c. par les bases des valves supérieures et internes, dont les bords internes et antéro-supérieurs unis forment une sorte de *bague* (Peytoureau), dans laquelle les deux troncs collecteurs des glandes sébifiques s'engagent avant de se fusionner;

d. une membrane issue du septième sternite abdominal.

Le plancher de la poche copulatrice est constitué :

a. en avant, par la lame inférieure des apophyses antérieures des valves inférieures de l'oviscapte, qui, en s'invaginant sur la ligne médiane, forme l'orifice où débouchent simultanément les deux oviductes latéraux (il n'y a pas, chez la Blatte, de véritable oviducte médian, les oviductes latéraux s'accolant sans fusionner leurs épithéliums);

b. en arrière, par une membrane dépendant du huitième sternite abdominal.

2° *Réceptacle séminal.* — Il est formé de deux canaux pelotonnés qui, déroulés, ont une longueur ne dépassant pas 2^{mm}. Le canal droit, plus volumineux que le gauche, est renflé en réservoir à son extrémité distale. Les deux tubes se réunissent en un tronc médian très court, qui débouche dans le plafond de la poche copulatrice, à la partie médiane antérieure de la *pièce en croissant*, 300^{μ} en arrière de l'orifice des oviductes. Leur structure histologique comporte, notamment, une épaisse couche musculaire et une zone cellulaire présentant de nombreux canalicules intracellulaires de $1^{\mu},5$ de diamètre et de longueur atteignant 120^{μ}.

3° *Appareil sébifique.* — Il est formé de deux canaux, droit et gauche, ramifiés en arbuscules et réunis en un court tronc commun, qui s'ouvre 1^{mm} en arrière du canal séminal, dans l'angle interne des valves internes de l'oviscapte. Le tube droit est beaucoup plus développé que le gauche.

Ainsi, l'étude précise de la Blatte permet d'affirmer, d'une part, les relations anatomiques du réceptacle séminal avec les valves inférieures, d'autre part, celles de l'appareil sébifique avec les valves internes de l'oviscapte. L'étude de nombreuses autres espèces d'Orthoptères appartenant à diverses familles m'a montré que les mêmes relations se retrouvent de façon constante dans cet ordre d'Insectes.

MICROBIOLOGIE. — *Effets virulicides de la streptomycine dans l'infection récurrentielle de la Souris* (Spirochæta duttoni). *Comparaison avec la pénicilline.* Note [1] de MM. **Constantin Levaditi** et **Aron Vaisman**, présentée par M. Gaston Ramon.

Heilman [2] a montré que la streptomycine exerce des effets préventifs incontestables chez les Souris contaminées avec la *Borrelia novyi*. Nous nous sommes

(1) Séance du 20 octobre 1947.

(2) *Proceed. Staf Meet. Mayo. Clinic*, 20, 1945, p. 169.

servis du *Spirochæta duttoni* pour entreprendre des essais analogues, appelés à résoudre les problèmes suivants :

1° *Effets préventifs.* — Des souris sont infectées par injection intrapéritonéale de sang riche en spirilles. Traitement préventif par 5000 U de streptomycine (voie sous-cutanée) quotidiennement et pendant 6 jours (au total, 30000 U). Absence de parasite dans le sang au cours de 20 jours d'observation, alors que la spirillose sanguine, chez les sujets témoins non traités, est manifeste dès le lendemain de la contamination. Donc, effet préventif total.

2° *Infectiosité du cerveau des souris traitées préventivement.* — Les encéphales des sujets ayant servi à l'essai précédent sont éprouvés du point de vue de leur potentiel infectieux, par inoculation dans la cavité péritonéale de souris neuves. Ces encéphales se révèlent stériles. Cet essai montre que la streptomycine prévient l'infectiosité du *névraxe*.

3° *Effets stérilisants de la streptomycine sur le virus récurrentiel résiduel inclus dans le cerveau des souris à la période chronique de la maladie.* Nous avons montré (³) que la pénicilline, administrée sous la peau, n'agit pas sur le virus récurrentiel résiduel présent dans l'encéphale. En est-il de même pour la streptomycine ? L'antibiotique a été administré soit par voie sous-cutanée, soit par voie transcrânienne.

a. Voie sous-cutanée. Expérience I. Des souris contaminées depuis 94 jours sont traitées par un total de 30000 U; d'autres sujets servent de témoins. Sacrifiés le 8ᵉ jour, leurs cerveaux sont inoculés à des souris neuves. Alors que les encéphales de ces témoins se révèlent virulents, ceux de certains animaux traités sont stériles.

Expérience II. Même dispositif. Souris contaminées depuis 58 jours, les unes traitées avec la même dose de streptomycine, les autres témoins. Effet stérilisant manifeste.

Ces données prouvent que l'antibiotique, administré par voie sous-cutanée, stérilise le cerveau dans une proportion variant de 62 à 78 % des cas.

b. Voie intracérébrale. — Des souris infectées depuis 103 jours sont traitées par des injections transcrâniennes de 160 U quotidiennement pendant 12 jours (au total 1920 U), d'autres servent de témoins. Les passages de cerveau, effectués quinze jours après le début de la cure, mettent en évidence la stérilité du névraxe, virulent chez les non traités.

Conclusion. — 1° Pareille en cela à la pénicilline, la streptomycine provoque, chez les souris infectées avec la *Spirochæta duttoni* (au moment même où le traitement débute) la stérilisation à la fois du sang et de l'encéphale ;

2° Contrairement à ce qui a lieu avec la pénicilline (laquelle, tout en exerçant un effet virulicide sur les spirilles sanguins, est inactive vis-à-vis du

(³) *Bull. Acad. Méd.*, **129**, 1945, p. 550; *Comptes rendus*, **222**, 1946, p. 698; *C. R., Soc. Biol.*, **139**, 1945, p. 478; *ibid*, **140**, 1946, p. 29.

virus névraxique résiduel), la streptomycine stérilise ce virus partiellement, si elle est administrée par voie sous-cutanée, totalement si on l'injecte par voie transcrânienne.

Deux hypothèses peuvent être formulées à ce sujet : soit que la pénétration de la streptomycine dans le névraxe est plus facile, donc plus intense que celle de la pénicilline, soit que le virus cérébral résiduel est plus résistant à la pénicilline qu'il ne l'est à l'égard de la streptomycine. Des travaux en cours permettront de faire un choix entre ces deux hypothèses.

IMMUNOLOGIE. — *Vaccination des Cobayes contre la fièvre aphteuse.* Note (1) de M. **Paul Durand** et Mlle **Georgette Cordier**, présentée par M. Gaston Ramon.

En même temps que nous traitions par divers vaccins aphteux les deux premières séries de bovins dont il est question dans une Note précédente (2), nous inoculions des séries de cobayes adultes avec les mêmes préparations. Bien que les doses utilisées pour les cobayes (1/30 de celles des bovins de plus de 200kg) aient été relativement très élevées, aucun d'eux ne présenta d'aphtes d'origine vaccinale.

La première série comprenait au départ six animaux qui ont subi des prises de sang échelonnées pour rechercher la présence d'anticorps protecteurs. Le tableau ci-dessous indique le résultat de ces épreuves. Le nombre de centimètres cubes correspond au volume du mélange de sérums d'un même groupe injecté sous la peau des cobayes servant au titrage; le numérateur de la fraction entre parenthèses qui suit indique le nombre de cobayes protégés contre la généralisation; le dénominateur, le nombre de cobayes ayant reçu la dose de sérum en question.

Vaccin utilisé.	Nombre de jours après la vaccination. 7 jours.	15 jours.	25 jours.	37 jours.
Waldmann	4^{cm^3} (2/2)	2^{cm^3} (1/1)	2^{cm^3} (1/2)	2^{cm^3} (2/2)
	2 (0/2)	1 (0/1)	–	1 (0/1)
Diéthyl	2 (2/2)	1 (2/2)	1 (1/2)	2 (0/2)
	1 (1/2)	–	0,5 (1/2)	–
» -carbone	1 (2/2)	1 (2/2)	2 (2/2)	2 (2/2)
	–	–	1 (1/2)	1 (1/2)
	–	–	0,5 (1/2)	–
» -lanoline	2 (2/2)	1 (2/2)	1 (2/2)	1 (1/1)
	1 (1/2)	–	0,5 (1/2)	0,5 (2/2)
	–	–	–	0,25 (0/2)

42 jours après leur vaccination les survivants étaient éprouvés par 25 à 30 piqûres d'aiguilles faites à travers une goutte de virus au 1/100 déposée sur le coussinet plantaire postérieur droit.

3 témoins ont fait une généralisation aphteuse en moins de 3 jours. Des 5 cobayes Waldmann restants, 3 ont fait un aphte primaire relativement étendu, sans généralisation,

(1) Séance du 20 octobre 1947.

(2) *Comptes rendus*, **225**, 1947, p. 707.

et 2 une infection généralisée. Les 3 survivants des traités au vaccin D n'ont fait que des lésions locales assez peu étendues. Des 6 vaccinés au diéthyl carbone, trois montrèrent une lésion locale minime et les 3 autres restèrent totalement indemnes; enfin des 5 survivants traités au vaccin DL, l'un fit une généralisation tardive, un autre un aphte local, punctiforme, 3 ne réagirent pas du tout.

La seconde série de cobayes comprenait, à l'origine, 7 lots d'une quinzaine d'animaux chacun, tous vaccinés le même jour, chaque lot avec un vaccin donné.

A des dates diverses, 3 cobayes de chaque lot ont été éprouvés. La recherche des anticorps protecteurs n'a pu être faite de façon valable qu'avec les sérums prélevés le 63e jour sur les cobayes survivants à cette date et qui ont été éprouvés seulement le 91e jour. Seuls ont manifesté dans leur sérum la présence d'anticorps, les lots correspondant aux vaccins FC et DC : 2^{cm^3} (2/2), 1^{cm^3} (1/2) et au vaccin DL 2^{cm^3} (2/2), 1^{cm^3} (2/2). Le sérum des cobayes D a donné la réaction paradoxale 2^{cm^3} (0/2), 1^{cm^3} (1/2) dont on ne peut tenir compte.

Dans le second tableau ci-dessous sont notés les résultats des épreuves virulentes, les symboles (O) signifiant l'absence totale de réaction, P l'apparition d'un aphte primaire sans généralisation ultérieure, et *g* une infection aphteuse généralisée. Le tableau comporte un rangement des vaccins d'après le pourcentage des animaux à immunité suffisante, admettant comme immunisés l'ensemble des (O) et des P.

	Vaccins utilisés.						
Ancienneté des vaccinations.	FC.	DL.	WS.	D.	DC.	FL.	WD.
18 jours	1 P 2 *g*	2 P 1 *g*	1 P 2 *g*	3 *g*	3 *g*	1 P 2 *g*	3 *g*
31 »	2 (o) 1 P	2 (o) 1 *g*	1 (o) 2 *g*	2 (o) 1 P	3 (o)	3 *g*	1 P 2 *g*
45 »	2 (o) 1 *g*	1 (o) 2 *g*	3 (o)	1 (o) 1 P 1 *g*	1 (o) 1 *g*	1 (o) 2 *g*	3 *g*
91 »	1 (o) 3 P 1 *g*	2 (o) 1 P	2 (o) 1 P 2 *g*	1 (o) 3 *g*	1 (o) 2 *g*	2 (o) 4 *g*	4 *g*
Total des réactions	5 (o) 5 P 4 *g*	5 (o) 3 P 4 *g*	6 (o) 2 P 6 *g*	4 (o) 2 P 7 *g*	5 (o) 6 *g*	3 (o) 1 P 11 *g*	1 P 12 *g*
Pourcentage des généralisations	28,6	33,3	43	53,8	58,3	73,3	92,3

De l'examen des résultats de nos deux séries d'essais de vaccination de cobayes, l'on peut admettre un parallélisme assez net dans chaque série entre la résistance à l'épreuve virulente et la présence d'anticorps protecteurs dans le sérum. D'autre part, si le Cobaye semble réagir favorablement au vaccin DL par exemple, il répond nettement moins bien que l'espèce bovine aux vaccins aluminés. Il serait donc peu sage de recourir à l'expérimentation sur ce rongeur pour essayer de prévoir le comportement des bovins dans des conditions analogues.

La séance est levée à 15^h^50^m^.

L. B.